

天津市重要地质遗迹特征及综合分级评价

李志华, 杨圣坤, 胡海博, 董卫宏, 董志华

Characteristics and comprehensive evaluation of important geological heritage resources in Tianjin

LI Zhihua, YANG Shengkun, Hu Haibo, DONG Weihong, and DONG Zhihua

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202104065>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

河北兴隆诗上庄地质遗迹特征及地质文化村建设探讨

Discussion on the characteristics of geoheritage and construction of geo-cultural village in Shishangzhuang, Xinglong County, Hebei Province

王瑞丰, 任伟, 翟延亮, 张唤楠, 韩立红, 申国强, 张成兵 水文地质工程地质. 2020, 47(6): 109-118

城市地下空间开发利用的地质安全评价内容与方法

Methods and contents of geological safety evaluation for urban underground space development and utilization

董英, 张茂省, 李宁, 杨敏, 程秀娟, 朱才辉 水文地质工程地质. 2020, 47(5): 161-168

平朔露天煤矿复垦区不同地质层组岩土质量综合评价

Comprehensive evaluation of rock and soil quality of different geological stratum groups in Pingshuo opencast coal mine reclamation area

崔潇, 周妍如, 刘孝阳, 白中科 水文地质工程地质. 2021, 48(2): 164-173

基于地质建造探索承德市土地利用优化路径

Exploration of land use optimization path based on geological formation in Chengde City

卫晓锋, 王京彬, 孙厚云, 殷志强, 何泽新, 贾凤超, 李霞, 刘宏伟, 张竞 水文地质工程地质. 2020, 47(6): 15-25

“水文地质与水资源调查计划”进展

Achievements of Investigation Program on Hydrogeology and Water Resources of CGS

李文鹏 水文地质工程地质. 2022, 49(2): 1-6

地质灾害隐患和水文地质环境地质调查计划进展

Achievements of the program of geological investigation on geo-hazards and hydrogeology and environmental geology

李文鹏 水文地质工程地质. 2019, 46(2): 1-1



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202104065

李志华, 杨圣坤, 胡海博, 等. 天津市重要地质遗迹特征及综合分级评价 [J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(4): 190-197.

LI Zhihua, YANG Shengkun, Hu Haibo, *et al.* Characteristics and comprehensive evaluation of important geological heritage resources in Tianjin[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(4): 190-197.

天津市重要地质遗迹特征及综合分级评价

李志华, 杨圣坤, 胡海博, 董卫宏, 董志华
(天津市地质调查研究院, 天津 300191)

摘要: 地质遗迹是自然资源的重要组成部分, 妥善处理高城镇化水平区域的地质遗迹保护与利用的关系, 是推动地质文化村建设和新型城镇化高质量发展的生态措施之一。天津市的地质遗迹保护与利用工作因存在调查程度低、家底不尽清晰、分类方案不够规范、缺乏整体评价等问题, 未能有效开展。基于对天津市全域地质遗迹调查的最新数据和对以往调查成果的整合梳理, 按照《地质遗迹调查规范》(DZ/T 0303—2017)对天津市的地质遗迹进行了类型划分, 对其科研价值、观赏价值、保护价值进行了定性分析, 采用专家打分和层次分析相结合的方法进行定量评价和等级划分。研究表明: 天津市重要地质遗迹可分为基础地质、地貌景观和地质灾害等 3 大类; 发育有地层剖面、重要岩矿石产地、岩土地貌、构造地貌、水体地貌、海岸地貌以及地质灾害遗迹等 7 类; 进一步可分为层型(典型剖面)、典型矿床类露头、侵入岩地貌、碎屑岩地貌、碳酸盐岩地貌、湿地、飞来峰、断层崖、海积地貌、地面沉降等 10 亚类。通过综合分级评价, 认为其中达到世界级标准的有 4 处, 国家级 3 处, 省级 8 处。上述研究结果可为天津市地质遗迹保护与科学利用提供参考。

关键词: 天津市; 地质遗迹; 保护与利用; 地质文化村; 生态文明建设

中图分类号: P942

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2022)04-0190-08

Characteristics and comprehensive evaluation of important geological heritage resources in Tianjin

LI Zhihua, YANG Shengkun, Hu Haibo, DONG Weihong, DONG Zhihua
(Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China)

Abstract: Geological heritage is an important part of natural resources. Properly handling the relationship between protection and utilization of geological heritage in a high urbanization level area is one of the ecological measures to promote the high-quality development of new urbanization. However, the low level of geological heritage survey, unclear family background, lack of standard classification scheme and overall evaluation restrict the effective development of geological heritage protection and utilization in Tianjin. Based on the latest data of the whole Tianjin geological heritage survey, and through the integration of previous geological heritage survey results, this paper classifies the types of geological heritage according to the *Specification for Geological Heritage Survey* (DZ/T 0303—2017). The scientific research value, ornamental value and protection value are qualitatively analyzed, and the quantitative evaluation and grade division are carried out by combining expert scoring and AHP. According to the classification scheme in the *Specification for Geological Heritage Survey* (DZ/T 0303—2017), the important geological heritages in Tianjin are divided into 3 main categories: basic geological category,

收稿日期: 2021-04-25; 修订日期: 2021-06-07

投稿网址: www.swdzcgdz.com

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160329)

第一作者: 李志华(1985-), 男, 硕士, 工程师。主要从事地质遗迹调查和保护工作。E-mail: lizhihua201@163.com

geomorphic landscape category and geological disasters, 7 categories: stratigraphic section, important rock and ore producing areas, rock and soil geomorphology, structural geomorphology, water geomorphology, coastal geomorphology and geological disaster heritages, 10 subclasses: stratotype (typical section), typical deposit outcrop, intrusive rock landform, clastic rock landform, carbonate rock landform, wetland, klippe, fault cliff, marine landform and land subsidence. The comprehensive evaluation and analysis indicate that there are 4 world-level, 3 national-level and 8 provincial-level geological heritages in Tianjin. The above research is expected to provide references for the protection and utilization of geological heritages in Tianjin.

Keywords: Tianjin; geological heritages; protection and utilization; geological culture village; ecological civilization construction

地质遗迹是由各种内外地质作用形成、发展并遗留下来的珍贵的、不可再生的地质现象, 不仅为人类探索地质历史时期地球古气候、古环境、生命演化过程提供可靠证据, 同时也造就了绚丽多彩的秀美山川、大江大河、湿地平原等自然景观^[1-2]。由成因上相同或相关, 空间上相连的地质遗迹构成的区域或范围即为地质遗迹点^[1]。

人类活动已经成为重要地质营力, 人-地相互作用影响也越来越明显^[3-4], 尤其是对于区域地质地貌(包括地质遗迹)的改造亦成为城镇化发展过程的表征之一。作为中国城镇化高水平发展代表的京津冀城市群之一的天津, 其地质遗迹资源大多位于城区周边人类生产、生活较频繁的地区, 受人为干扰较大。对地质遗迹分布边界和演化规律的调查和研究可以为科学划定地质遗迹分区和保护范围、妥善处理地质遗迹保护与开发的关系、合理规划城市产业布局、有效缓解人类活动和地质遗迹保护之间的冲突和矛盾等提供基础支撑。

天津市地质遗迹调查工作尚处于早期, 还未出台正式的规范性文件。由于对地质遗迹点概念认识上存在差异, 在进行地质遗迹调查时, 常常局限于蓟州北部基岩出露区的地质公园或保护区内, 调查和评价对象一般为某一地质遗迹点的特征点, 导致存在地质遗迹分类方案不够规范、地质遗迹特征点数量多但却难以反映天津市地质遗迹整体状况以及缺乏对地质遗迹的整体评价的问题。本次地质遗迹调查工作不同于以往, 一是作为行业标准《地质遗迹调查规范》(DZ/T 0303—2017)颁布实施以后的第一次规范性调查, 对天津市地质遗迹资源进行了全面调查和梳理, 查清了重要地质遗迹特征、规模、分布范围、演化历史等^[5], 采用了规范的地质遗迹分类方案; 二是调查研究的尺度由地质公园和保护区, 上升为省、市乃至国家层面, 对观察点和特征点进行筛选、梳理等, 完

整、科学、规范、全面地对地质遗迹点进行认定、描述、分类; 三是工作过程中采用了定性评价和定量评价相结合的综合分级评价方法, 使地质遗迹评价结果更可靠。

1 研究区概况

天津市总面积 1.37 万 km², 陆域面积约为 1.19 万 km², 海域面积约为 0.18 万 km²。北部山区属燕山山地, 分布在蓟州区北部, 面积约占陆域面积的 7%, 出露新太古界、中新元古界及下古生界地层, 其中, 以中新元古界为主, 新太古界及下古生界仅零星分布; 南部平原属华北平原的一部分, 为堆积平原, 分布在山区以南广大地区, 约占陆域面积的 93%, 被第四系覆盖, 第四系之下发育中新元古界至新近系地层; 东南部濒临渤海湾, 属海积低平原, 海岸线长度约 360 km, 主要由滨海盐滩、潟湖洼地、沼泽和潮滩组成, 以淤泥质黏土为主。

2 重要地质遗迹分类及其分布

在充分搜集天津市地质遗迹有关资料基础上, 初步筛选出具有重要科学、科普和观赏价值的重要地质遗迹作为研究对象。通过野外调查和综合研究分析, 对初选的地质遗迹进行分类和综合分级评价。由于地质遗迹在漫长的地质历史时期, 经过多期复杂的地质变化, 因此地质遗迹具有改造成因多样、自身具备多重科学价值属性的特点, 这都将决定地质遗迹的最终分类和综合分级评价结果。

经调查研究, 天津市重要地质遗迹点为 15 处, 根据《地质遗迹调查规范》(DZ/T 0303—2017)中地质遗迹分类方案和最能反映地质遗迹科学价值的成因等, 分为 3 大类, 7 类和 10 亚类(表 1)。

天津市地质遗迹涵盖地层剖面、重要岩石产地、岩土体地貌、构造地貌、水体地貌、海岸地貌、地

表 1 天津市重要地质遗迹点一览表
Table 1 List of important geological sites in Tianjin

大类	类	亚类	遗迹名称	出露规模 /km ²
基础地质大类	地层剖面	层型	蓟县剖面(即中新元古界标准剖面)	8.9
	重要岩石产地	典型矿床类露头	锰方硼石矿床	—
			七里海湿地	68
			北大港湿地	349
			团泊洼湿地	60
地貌景观大类	水体地貌	湿地	大黄堡湿地	112
			渤海湾贝壳堤	—
			渤海湾牡蛎礁	—
			天津沿海滩涂	370
		海岸地貌	海积地貌	侵入岩地貌
盘山花岗岩地貌				
蓟州区石英砂岩峰林峡谷地貌				24
岩土体地貌			碳酸盐岩地貌	5
			九龙山碳酸盐岩地貌	
	构造地貌		飞来峰	3
			断层崖	黄崖关断崖地貌
地质灾害大类	地质灾害遗迹	地面沉降	天津市地面沉降	5 150

质灾害遗迹,其中前四者分布在天津市北部基岩出露区,后三者分布在天津市南部第四系深覆盖区。

3 重要地质遗迹

3.1 地层剖面

蓟县剖面(即蓟县中、新元古界标准地层剖面简称)位于蓟州区北部山区,起点从常州沟村到蓟州城区附近,绵延十数公里,展布在燕山南麓,出露面积约 9 km²。蓟县剖面地层厚度约 9 200 m,底界与太古界分界,见图 1(a),距今 16.5 亿 a^[6-7],顶界与寒武系昌平组分界,见图 1(b),距今 7.8 亿 a^[8]。地层划分为 4 个系:长城系、蓟县系、待建系、青白口系;12 个组:常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组、高于庄组、杨庄组、雾迷山组、洪水庄组、铁岭组、下马岭组、龙山组、景儿峪组。除下马岭组和龙山组之外,其他各组均为层型所在地。地层岩性主要为碳酸盐岩,占岩石种类的 73.53%,其次是碎屑岩,占 17.6%,其余为黏土质岩石、火山岩和火山碎屑岩,因此,蓟县剖面属于碳酸盐岩相。蓟县剖面的古生物化石,以页岩相微古植物化石、燧石相微化石、炭质宏观藻类化石和隐藻化石中的叠层石资源最为丰富,尤其是宏观藻类化石群的发现,对研究生命起源具有重大意义。现已建立国家级自然保护区。

3.2 重要岩石产地

锰方硼石是一种很少见的无水氯硼酸盐矿物,分子式为 Mn₃B₇O₁₃Cl,于 1962 年在美国德克萨斯州钱



(a) 太古界和中元古界分界线



(b) 新元古界和寒武系分界

图 1 蓟县剖面顶底界

Fig. 1 Top and bottom boundary of Jixian Profile

伯斯镇发现,并命名为钱伯斯矿^[9]。1971 年,在天津蓟县发现金伯斯矿床,并翻译为锰方硼石矿。锰方硼石矿床位于蓟州区穿芳峪镇东水厂附近,矿层赋存于蓟县系高于庄组二段泥晶白云岩中,矿体成透镜状断续成层分布,东西延长达 30 km。矿层中致密块状富矿体呈扁豆状、饼状、串珠状、筒状、散点状等断续排列,矿体走向 280°~310°,倾向 SW,倾角 40°~60°,由于该矿极易风化,鲜见出露。目前,该矿床处于天津蓟县国家地质公园内,是天津市政府明令禁止开采的重点保护矿种。

3.3 水体地貌

天津市地处北运河、永定河、大清河、子牙河、南运河 5 条河流下游,河道纵横交错、支流众多,地表水资源丰富。全新世时期,天津市经历了多期海侵、海退事件,海侵最西处直达白洋淀;随着全球气候逐渐变冷,渤海逐渐退去,海水入侵逐渐减少,在渤海湾北岸形成大量的潟湖、沼泽等,在大气降水与河水注入的混合作用下,潟湖的盐度逐渐降低,逐渐成为了湿地。在没有人类干扰的情况下,湿地演化比较稳定,自然更替相对比较缓慢,但是在自然环境、人类活动和政策因素驱动下,天津市湿地类型有加速由自

然湿地向人工湿地转化、空间上有向东南部转移的趋势^[10-11]。

天津市湿地主要包括近海及海岸湿地、河流湿地、湖泊湿地、沼泽和沼泽化草甸湿地、人工湿地 5 大类型, 面积约占天津总面积的 20%, 居北方省市第一, 较重要的为七里海、北大港、大黄堡、团泊洼湿地等, 其中七里海湿地最具地学研究价值和观赏价值。七里海湿地位于宁河区境内, 面积约 68 km², 为典型的古潟湖遗迹, 形状呈凸字形, 是由堤岸、贝壳、碎屑沙等组成的退海地, 潮白新河纵穿七里海, 将七其分隔为东西两海, 东海为水库和苇地、西海为苇地。七里海湿地处于华北平原强烈沉降带东北部, 新生代以来持续下沉, 地貌上介于黄河海河三角洲与滦河三角洲之间相对低洼区。全新世时期, 随着最后一次海退, 七里海地区变成只能高潮水到达的潟湖, 约隋唐时期, 逐渐脱离海水影响, 最终演化成淡水湖泊湿地。

3.4 海岸地貌

3.4.1 贝壳堤

渤海湾贝壳堤(图 2)是由波浪或高潮水将贝壳和贝壳碎片从浅海泥砂中簸选出来, 在海边的泥滩上逐渐堆积加高, 形成上凸的堤状堆积体, 一般埋藏在地下 0~10 m, 堤宽数十米, 高数米, 长数十公里, 极少露头, 目前研究发现共有 4~6 道贝壳堤沿渤海湾西北侧^[12], 与海岸线平行分布, 从滨海新区一直延伸到河北省黄骅市。目前, 贝壳堤已处于国家级古海岸与湿地自然保护区内。渤海湾贝壳堤形成于 7 000 a 前, 是由海生贝类动物在海潮推动下, 逐渐堆积而成的古渤海海岸线的标志。物质组成主要为海相软体动物双壳类的贝壳和碎片、少量的腹足类壳, 以及他们的碎屑。



图 2 古林古海岸遗迹博物馆原地保存的贝壳堤

Fig. 2 Shell ridges preserved in situ in Gulin Ancient Coastal Heritage Museum

3.4.2 牡蛎礁滩

渤海湾的西北岸, 潮白河两岸及蓟运河以西, 自早全新世最大海侵以来, 发育了规模巨大、数量众多

的埋藏牡蛎礁体, 往往形成于略高于自然地平的垄岗状高地——俗称牡蛎(礁)岭, 是该地区重要地质现象^[13-14]。渤海湾牡蛎礁在宁河区境内多处分布, 是深埋于地下 3~7 m 不等的牡蛎遗骸的堆积体, 形成于距今 2 000~7 000 a, 由长重蛎、近江重蛎组成, 厚达 5 m, 据《天津古海岸与湿地国家级自然保护区保护对象调查与研究》^[15]测算天津市牡蛎礁储量约为 $2.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。牡蛎礁滩内部形态一般以直立与倒伏为主, 气候温暖, 牡蛎正常生长, 则以直立矗立生长; 气候变冷, 海水退却, 牡蛎大面积死亡、倒伏, 则形成倒伏状, 这也揭示了气候变化的规律, 为研究古气候、古环境等提供证据。目前, 牡蛎礁滩处于国家级古海岸与湿地自然保护区内。

3.4.3 天津沿海滩涂

海岸滩涂(简称海涂)位于陆地与海洋之间狭长的潮间地带, 通常指海岸线至理论深度基准面——零米线间低潮时出露的滩地。天津市渤海湾海岸带位于渤海湾西—西北岸, 海岸带宽广低平, 形态单一, 呈弧形带状分布, 为典型的粉砂淤泥质平原海岸, 由于人工填海、防潮堤的普遍修建, 自然发展的海岸线已面目全非, 补给泥沙量不足, 导致淤泥质海岸处于不断侵蚀后退状态, 并逐渐演化为砂质海岸^[16]。目前, 沿海滩涂尚未采取有效保护措施。

3.5 岩土体地貌和构造地貌

天津市北部地区主要出露地层为中新元古界地层, 其中, 北部的常州沟组石英砂岩在地质构造及流水侵蚀下形成石英砂岩峰林峡谷地貌, 面积约 24 km², 如刀砍斧凿、鬼斧神工般秀美; 中部发育的高于庄组灰质白云岩构成的九龙山峰丛地貌景观, 面积约 5 km², 形成典型的低矮山峰、峰丛、石芽等地貌单元; 蓟州北部与兴隆交界处在黄崖关断裂带的影响下形成了黄崖关断崖地貌, 面积约 12 km², 与盘桓而上的长城相映成辉; 西部出露印支期火山活动形成的盘山侵入岩地貌, 面积约 12 km², 岩体节理裂隙发育, 球形风化强烈, 形成怪石嶙峋的石蛋山地貌; 南部蓟州城区附近推覆构造形成的府君山飞来峰地貌, 面积约 3 km², 造成此地貌的地质活动被我国著名地质学家孙云铸命名为“蓟县运动”。目前, 以上地质遗迹资源处于天津蓟县国家地质公园范围内。

3.6 地质灾害遗迹

天津市南部平原区松散沉积层巨厚, 地下水开采集中, 地面沉降地质灾害发育, 是天津市最主要的地质灾害, 也是全国地面沉降地质灾害主要代表区域^[17]。目前, 沉降区基本覆盖天津市南部平原区, 呈不规则

椭圆形,最大累计沉降量为3 m多,主要形成汉沽、杨村、西青—静海—津南区3个沉降中心。由于自然因素与人为因素,导致新近系、古近系、第四系地层产生沉降,继而造成地面高程损失(图3)、降低河道行洪和排泄能力、加重风暴潮危害、威胁轨道交通安全等一系列问题,损失大,影响持久,但随着控沉工作力度加强,这一趋势将放缓。



图3 地面沉降导致的管道一侧抬升

Fig. 3 Lifting of one side of the pipeline caused by land subsidence

4 地质遗迹综合分级评价

本次地质遗迹综合分级评价的目的是为了建立全国地质遗迹保护名录,为地质遗迹保护区划、分级保护和开发提供政策依据。重要地质遗迹综合分级评价结果可根据地质遗迹的科学价值、观赏价值和保护价值分为世界级、国家级、省级3个等级。

地质遗迹评价方法众多,评价结果也有所不同,总体来说可以分为定性评价和定量评价。定性评价是大多数习惯采用的地质遗迹评价方法,但评价结果往往带有一定的主观性。定量评价一定程度可弥补定性评价的主观性缺点,但各评价指标的模糊得分仍然离不开定性分析。因此,本文采用定性评价和定量评价相结合的方式综合分级评价。

4.1 地质遗迹定性评价

4.1.1 科研价值

天津市地质遗迹资源科研价值主要体现在地层学、矿床学、生态地质学、第四纪地质学等学科上。如蓟县剖面对区域地层对比、生命的形成及进化、地球的演变以及古地理环境恢复等方面具有重大的科学价值,尤其是随着锆石 U-Pb 同位素测年技术的进步,蓟县剖面相关地层首次获得直接定年,为重新厘定年代格架、对比等,提供了新的、精确的年代学锚点^[18-19]。锰方硼石是一种罕见的锰氯硼酸盐矿物,对

该矿物的矿物学特征和成因研究填补了我国乃至世界锰方硼石矿物学和矿床学研究的空白^[20]。渤海西北岸的贝壳堤、牡蛎礁、海岸滩涂及湿地等,记录了过去7 000 a间“沧海变桑田”过程中的数道古海岸线,是海陆变迁的重要产物和证据,众多国内外相关专业学者在此开展研究、调查工作,相继在国内外学术期刊上发表了众多关于海洋、地质、地理等系统海岸演变、古气候、湿地生态等学科的研究成果和文章。

4.1.2 观赏价值

天津市南部平原区湿地是全新世以来海侵、海退地质事件形成的独特的景观资源,这里大面积生长的芦苇,在天津乃至华北地区均属罕见,动植物资源丰富,拥有良好的湿地生态系统。每年大量候鸟在此汇集,其中包括多种珍稀濒危鸟种,是鸟类南北迁徙的中转站。北部地质遗迹出露区,位于燕山山脉南麓,自然风光优美,人文历史悠久,地质构造形成的峰林峡谷地貌、断层崖和花岗岩山峰与皇家文化、宗教文化和长城等历史文化遗迹交相呼应,形成了人文古迹与青山秀水相融合的景观特色,极具观赏价值。

4.1.3 保护价值

蓟县剖面从典型性、自然性、系统性和完整性上,均属世界一流,真实地记录着地球演化距今约16.5~7.8亿a间的地质演化史,赋存着能反映当时古地理、古气候、古生物、古构造、古地磁等的大量自然信息以及多种金属、非金属矿产资源。锰方硼石矿,在世界上分布稀少,只在天津市蓟县形成了世界上唯一的具有开发利用价值的锰方硼石矿床^[21],是一种重要的化工原料,在电子工业和原子能工业上都有重要应用价值,开发应用前景巨大,政府已明文禁止开采。渤海湾西北岸的贝壳堤、牡蛎礁和湿地是古海岸线的标志,对研究古海洋、古气候、古环境等科研领域和调节区域气候、净化水质、保护生物多样性具有重要作用,在国际上占有重要位置。

4.2 地质遗迹定量评定

4.2.1 评价指标与方法

地质遗迹评价指标及其权重的合理确定关系着评价结果的准确性。目前,地质遗迹定量评价不外乎从自然属性、功能价值、开发条件等几个方面,但具体评价时选取的评价指标各有不同。评价指标过少,使得结果不够全面,评价指标过多,指标间存在包含或交叉关系,使得评价属性冗余^[22]。本文根据天津地质遗迹的特点,通过反复权衡,选取能最大程度体现遗迹价值的因子,去除不相关和冗余因子,得到了如表2所示的评价指标体系。

表 2 天津市地质遗迹评价指标、权重及因子含义

Table 2 The evaluation indexes, weights and factor meanings of geological heritage in Tianjing

评价综合层	权重	评价项目层	权重	评价因子层	权重	因子含义
地质遗迹价值	0.581	观赏价值	0.154	稀有性	0.062	在国内外出现的几率
				奇特性	0.037	形态特征特殊性
				完整性	0.027	自然状态、保存状况
				愉悦度	0.028	艺术、造型的美观程度
		科学价值	0.289	科学研究	0.171	科学研究程度
				科普教育	0.118	科普教育程度
地质遗迹规模与组合	0.257	文化价值	0.138	历史文化	0.054	历史文化价值
				宗教传说	0.084	宗教民俗价值
		遗迹规模	0.130	遗迹面积	0.058	遗迹面积大小
				宏伟程度	0.072	遗迹的数量与密度
		地域组合	0.127	多样性	0.082	地质遗迹特征点的丰富程度
				协调性	0.045	不同遗迹之间的配合程度
地质遗迹外部因素	0.162	资源影响力	0.107	社会认知度	0.056	社会对地质遗迹的认知程度
				社会影响力	0.051	地质遗迹对人们的影响程度
		环境状况	0.055	环境质量与安全性	0.033	生态环境质量、自然或人为威胁因素
				生态旅游环境承载力	0.022	能承受的最大生态旅游活动强度

本文采用层次分析法(AHP)进行评价指标体系中各评价因子权重的确定。层次分析法是通过将评价体系分解成若干层次,通过专家两两对比下一层因子相对于上一层次因子的重要性而逐层判断评分,给出相对重要性定量指标,建立判断矩阵,进而计算特征向量并做一致性检验^[23]。运用层次分析法,得出了天津地质遗迹定量评价的各因子权重如表2所示。

4.2.2 评价模型

在确定指标体系中各因子权重后,运用模糊数学法确定综合评分。首先,邀请5位地质遗迹研究相关专家对各处地质遗迹各项指标打分,打分标准采用模糊数学百分制计分法。打分之前,提供每处地质遗迹的详细调查资料,对每处地质遗迹的各要素指标有图文和数据描述。评分标注划分为Ⅰ极好[85,100]、Ⅱ很好[70,85]、Ⅲ较好[55,70]、Ⅳ一般[0,55]等4档。

每位专家依据评价因子打分,选取一个集中度较高的分值来确定每个因子的模糊得分,将各因子得分乘以各自的权重得出该因子的最终得分,把各因子的最终得分相加,计算出地质遗迹的总得分,总分越高,其价值越大,公式如下:

$$F = \sum_{i=1}^n S_i \cdot W_i$$

式中: F ——地质遗迹综合评分;

S_i ——第 i 个评价因子的模糊得分值;

W_i ——第 i 个评价因子的权重值;

n ——评价因子的数目。

4.2.3 定量评价结果

通过上述方法和模型,对主要地质遗迹的综合分级评价结果值进行等级划分,其依据标准为:世界级(极高的遗迹价值,得分为[85,100])、国家级(很高的遗迹价值,得分为[70,85])、省级(较好的遗迹价值,得分为[55,70])、地方级(一般的遗迹价值,得分[0,55])。最终结果为世界级4处,国家级3处,省级8处(表3)。

表 3 天津市重要地质遗迹评价等级

Table 3 Evaluation grade of important geological heritages in Tianjin

评价等级	地质遗迹名称
世界级	蓟县剖面(即中新元古界标准剖面)、锰方硼石墨矿床、渤海湾贝壳堤、渤海湾牡蛎礁
国家级	七里海湿地、天津市沿海滩涂、天津市地面沉降
省级	盘山花岗岩地貌、蓟州区石英砂岩峰林峡谷地貌、九龙山碳酸盐岩地貌、府君山飞来峰地貌、黄崖关断崖地貌、北大港湿地、团泊洼湿地、大黄堡湿地

5 结论及建议

(1)天津市地域面积较小,地形地貌、地质背景简单,在漫长的地质历史过程中,共发育了15处重要地质遗迹,按照《地质遗迹调查规范》(DZ/T 0303—2017)分为3大类、7类和10亚类。3大类为:基础地质大类、地貌景观大类和地质灾害大类;7类为:地层剖面类、重要岩矿石产地类、岩土体地貌类、构造地貌类、水体地貌类、海岸地貌类以及地质灾害遗迹类;10亚类为:层型(典型剖面)、典型矿床类露头、侵入岩地

貌、碎屑岩地貌、碳酸盐岩地貌、湿地、飞来峰、断层崖、海积地貌、地面沉降。

(2)天津市重要地质遗迹分布范围基本覆盖天津市全域,其中地层剖面类、重要岩矿石产地类、岩土体地貌类、构造地貌类地质遗迹分布在北部基岩出露区,水体地貌类、海岸地貌类以及地质灾害遗迹类分布在南部平原区。

(3)通过定性和定量相结合的方式综合分级评价地质遗迹等级:世界级4处,蓟州区蓟县剖面、锰方硼石矿床,渤海湾西北岸贝壳堤、牡蛎礁;国家级3处,宁河区七里海湿地、滨海新区沿海滩涂和全市范围内的地面沉降;省级8处,蓟州区盘山花岗岩地貌、石英砂岩峰林峡谷地貌、九龙山碳酸盐岩地貌、府君山飞来峰地貌、黄崖关断崖地貌,滨海新区北大港湿地、静海区团泊洼湿地以及武清区大黄堡湿地。

综上,建议科学合理划定地质遗迹保护边界,适度开展地学旅游和地学科普活动;从多学科多角度、以通俗易懂的方式解读地质遗迹,增强群众保护地质遗迹意识;颁布地质遗迹保护规定,加强地质遗迹巡查监测,及时掌握地质遗迹及保护设施保存现状;结合村镇发展规划,积极申报地质文化村,打造地学科普基地等。

参考文献 (References):

- [1] 国土资源部.地质遗迹调查规范: DZ/T 0303—2017 [S].北京:中国标准出版社,2017. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Regulations for geoheritage investigation: DZ/T 0303—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. (in Chinese)]
- [2] 王瑞丰,任伟,翟延亮,等.河北兴隆诗上庄地质遗迹特征及地质文化村建设探讨[J].水文地质工程地质,2020,47(6): 109—118. [WANG Ruifeng, REN Wei, ZHAI Yanliang, et al. Discussion on the characteristics of geoheritage and construction of geo-cultural village in Shishangzhuang, Xinglong County, Hebei Province[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(6): 109—118. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 刘学,张志强,郑军卫,等.关于人类世问题研究的讨论[J].地球科学进展,2014,29(5): 640—649. [LIU Xue, ZHANG Zhiqiang, ZHENG Junwei, et al. Discussion on the anthropocene research[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(5): 640—649. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 马传明,匡恒,张晶晶,等.论城镇地质环境综合评价

问题[J].水文地质工程地质,2016,43(5): 100—104.

- [5] [MA Chuanming, KUANG Heng, ZHANG Jingjing, et al. Discussion on the comprehensive evaluation of geo-environment in urban areas[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2016, 43(5): 100—104. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 天津市地质调查研究院.天津市重要地质遗迹调查[R].天津:天津市地质调查研究院,2017. [Tianjin Institute of Geological Survey. Survey of important geological heritages in Tianjin[R]. Tianjin: Tianjin Institute of Geological Survey, 2017. (in Chinese)]
- [6] 和政军,牛宝贵,张新元,等.北京密云元古宙常州沟组之下环斑花岗岩古风化壳岩石的发现及其碎屑锆石年龄[J].地质通报,2011,30(5): 798—802. [HE Zhengjun, NIU Baogui, ZHANG Xinyuan, et al. Discovery of the paleo-weathered mantle of the rapakivi granite covered by the Proterozoic Changzhougou formation in the Miyun area, Beijing and their detrital zircon dating[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(5): 798—802. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 李怀坤,苏文博,周红英,等.华北克拉通北部长城系底界年龄小于1 670 Ma: 来自北京密云花岗斑岩岩脉锆石LA-MC-ICPMS U-Pb年龄的约束[J].地学前缘,2011,18(3): 108—120. [LI Huaikun, SU Wenbo, ZHOU Hongying, et al. The base age of the Changchengian System at the northern North China Craton should be younger than 1 670 Ma: Constraints from zircon U-Pb LA-MC-ICPMS dating of a granite-porphyry dike in Miyun County, Beijing[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(3): 108—120. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 耿元生,陆松年.中国前寒武纪地层年代学研究的进展和相关问题[J].地学前缘,2014,21(2): 102—118. [GENG Yuansheng, LU Songnian. Advances in the study of Precambrian chronostratigraphy in China: A review[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(2): 102—118. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 王秋舒,许虹,高桑,等.稀有矿物锰方硼石的合成及其矿床地质意义[J].地学前缘,2013,20(3): 123—130. [WANG Qiushu, XU Hong, GAO Shen, et al. Synthesis of the rare mineral chambersite and its ore deposit geological significance[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(3): 123—130. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 樊彦丽,田淑芳.天津市滨海新区湿地景观格局变化及驱动力分析[J].地球环境学报,2018,9(5): 497—507. [FAN Yanli, TIAN Shufang. Wetland landscape changes and its driving factors in Binhai New Area of Tianjin[J]. Journal of Earth Environment, 2018, 9(5):

- 497 – 507. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 牛娇. 天津市湿地资源演变规律与退化风险研究[D]. 天津: 天津大学, 2012. [NIU Jiao. Research on wetland resources evolution and degradation risk in Tianjin[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 岳军, 张宝华, 耿秀山, 等. 渤海湾西岸的几道贝壳堤[J]. *地质学报*, 2012, 86(3): 522 – 534. [YUE Jun, ZHANG Baohua, GENG Xiushan, et al. A few of barrier sand-bars on the west coast of Bohai Bay[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(3): 522 – 534. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 林防, 李凤林, 李建芬, 等. 渤海湾西北岸全新世介形类组合特征及海进海退旋回[J]. *地球学报*, 2004, 25(1): 53 – 58. [LIN Fang, LI Fenglin, LI Jianfen, et al. Holocene Ostracoda assemblages and marine transgression-regression cycle in the northwestern coastal area of the Bohai Gulf[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2004, 25(1): 53 – 58. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 范昌福, 王宏, 裴艳东, 等. 渤海湾太平洋牡蛎壳体记录的冬季停止分泌/春季恢复生长的最低水温[J]. *地球学报*, 2012, 33(6): 953 – 960. [FAN Changfu, WANG Hong, PEI Yandong, et al. The lowest sea surface temperatures for stopping secretion in winter and resuming growth in spring recorded by the living Pacific oyster (*crassostrea gigas*) shell in the Bohai Bay[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2012, 33(6): 953 – 960. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 汪苏燕. 天津古海岸与湿地国家级自然保护区保护对象调查与研究[M]. 天津: 天津科技翻译出版公司, 2010. [WANG Suyan. Investigation and study on protected objects of Tianjin ancient coast and wetland national nature reserve[M]. Tianjin: Tianjin Science & Technology Translation & Publishing Corp, 2010. (in Chinese)]
- [16] 侯庆志. 渤海湾连片开发对于海岸滩涂动力环境及演变过程的影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013. [HOU Qingzhi. Study for impacts of contiguous development in Bohai Bay on coastal mudflat hydraulic environment and evolution process[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 郭海朋, 李文鹏, 王丽亚, 等. 华北平原地下水位驱动下的地面沉降现状与研究展望[J]. *水文地质工程地质*, 2021, 48(3): 162 – 171. [GUO Haipeng, LI Wenpeng, WANG Liya, et al. Present situation and research prospects of the land subsidence driven by groundwater levels in the North China Plain[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2021, 48(3): 162 – 171. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 李怀坤, 苏文博, 周红英, 等. 中-新元古界标准剖面蓟县系首获高精度年龄制约: 蓟县剖面雾迷山组和铁岭组斑脱岩锆石 SHRIMP U-Pb 同位素定年研究[J]. *岩石学报*, 2014, 30(10): 2999 – 3012. [LI Huaikun, SU Wenbo, ZHOU Hongying, et al. The first precise age constraints on the Jixian System of the Meso-to Neoproterozoic Standard Section of China: SHRIMP zircon U-Pb dating of bentonites from the Wumishan and Tieling formations in the Jixian Section, North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(10): 2999 – 3012. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 田辉, 张健, 李怀坤, 等. 蓟县中元古代高于庄组凝灰岩锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 定年及其地质意义[J]. *地球学报*, 2015, 36(5): 647 – 658. [TIAN Hui, ZHANG Jian, LI Huaikun, et al. Zircon LA-MC-ICPMS U-Pb dating of tuff from mesoproterozoic Gaoyuzhuang formation in Jixian County of North China and its geological significance[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2015, 36(5): 647 – 658. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 王秋舒. 天津蓟县锰方硼石矿物学特征及其成矿机理初探[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013. [WANG Qiushu. Mineralogical characteristics of the chambersite and its ore genesis of Jixian, Tianjin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 张然, 许虹, 李梅梅. 稀有矿物天津蓟县锰方硼石振动光谱特征研究[J]. *岩矿测试*, 2018, 37(2): 139 – 145. [ZHANG Ran, XU Hong, LI Meimei. Vibrational spectroscopy characteristics of rare mineral chambersite in Jixian of Tianjin, China[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2018, 37(2): 139 – 145. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 彭世良, 周爱国, 柴波, 等. 湖南省地质遗迹综合评价[J]. *地质与资源*, 2017, 26(1): 90 – 95. [PENG Shiliang, ZHOU Aiguo, CHAI Bo, et al. A comprehensive evaluation of the geoheritages in Hunan Province[J]. *Geology and Resources*, 2017, 26(1): 90 – 95. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 王铠铭, 武法东, 张建平. 北京延庆地质公园主要地质遗迹评价[J]. *地球学报*, 2013, 34(3): 361 – 369. [WANG Kaiming, WU Fadong, ZHANG Jianping. Assessment of major geoheritages in the Yanqing geopark of Beijing[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2013, 34(3): 361 – 369. (in Chinese with English abstract)]