

对深部疏干巨厚基岩含水层时 双层水位形成条件的初步分析

田开铭

(武汉地质学院北京研究生部)

一、引言

自然界中,裂隙或岩溶裂隙碳酸盐岩地层的厚度超过数百米者常见。如北方的马家沟灰岩,南方的茅口和栖霞灰岩,都是严重威胁煤炭及金属矿产开采的主要巨厚含水层。

巨厚灰岩含水层的存在,往往使矿井涌水量很大,因而矿井疏干,需耗费巨额资金。由于矿井长时期大量排水,作为主要供水水源的这些含水层经常遭到破坏,矿井疏干范围内的供排矛盾特别尖锐。在岩溶被松散沉积物覆盖地段,矿井疏干浅部含水层还会引起一系列环境工程地质问题,诸如地面建筑物倒塌,道路和桥梁被毁等。由矿井疏干造成的间接经济损失也是巨大的。

山东省冶金厅运用深部疏干方法,使金岭铁矿矿层顶板的马家沟灰岩含水层,总涌水量持续十余年,低于每日约三万吨水平。并在同一个巨厚含水层中形成了双层水位,使该含水层浅部受矿井疏干的影响甚微,始终是淄博市的主要供水水源。在召口铁矿采用这个疏干方法,亦获成功。

深部疏干方法不仅在经济上已收到显著效益,而且具有理论意义。它启示我们去弄清深部疏干巨厚基岩含水层可能形成双层水位的机制,去探讨各种有关的水文地质计算方法,以便在合适的条件下利用这个机制,创造性地为矿井疏干或其它类似的排水工程制定出最佳方案。

本文就深部疏干巨厚基岩含水层,可能形成双层水位的条件提出某些肤浅看法,供正式开展这项研究时参考。

二、岩层渗透性随埋深的变化律

裂隙或岩溶裂隙碳酸盐岩层的渗透性普遍具有各向异性特点。同时,岩层的渗透度一般随埋藏深度递减,具有上强下弱的特点。作者认为,上述特点还有更深的涵义。

若以渗透度张量表征碳酸盐岩层状裂隙网络的渗透性，它的各向异性特征主要取决于垂层渗透度主值 K_N^0 与顺层渗透度主值 K_H^0 的差异。虽然各渗透度主值随埋藏深度均按负指数函数递减，但是 K_N^0 递减较快， K_H^0 递减较慢，如图 1 所示。

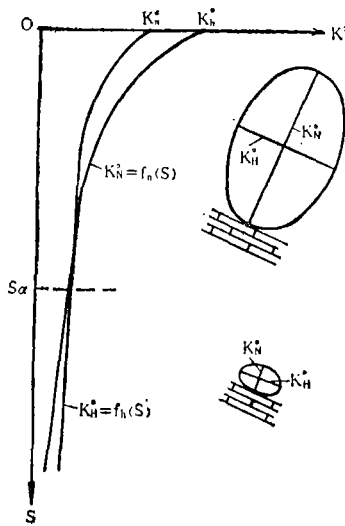


图 1 K_N^0 与 K_H^0 随埋深的变化律

Fig. 1 Changes of K_N^0 and K_H^0 versus the increasing of depth.

当岩层厚度足够大时，由于系数 $\alpha_N > \alpha_H$ ，负指数函数 $K_N^0 = k_N^0 e^{-\alpha_N S}$ 与 $K_H^0 = k_H^0 e^{-\alpha_H S}$ 的曲线必在一定深度 S_α 相交于一点。以深度 S_α 为界，可将巨厚碳酸盐岩地层分成两段，这两段岩层层状裂隙网络的渗透性，在各向异性方面发生了极深刻的变化。在上段岩层中，以 $K_N^0 > K_H^0$ 的竖立椭球为特征，而在下段岩层中则倒转成 $K_N^0 < K_H^0$ 的平卧椭球。

岩层渗透性随埋深的变化律，可看成深部疏干巨厚基岩含水层可能形成双层水位的必要条件。因为（1）在深度 S_α 以下，岩层的 K_H^0 大于 K_N^0 ，当深部疏干含水层时，下段岩层中能出现独立的水面。（2）在深度 S_α 以下，岩层的 K_N^0 和 K_H^0 均按负指数函数减弱，当深部疏干时涌水量不大，这对保存上段岩层中的原有水面十分有利。

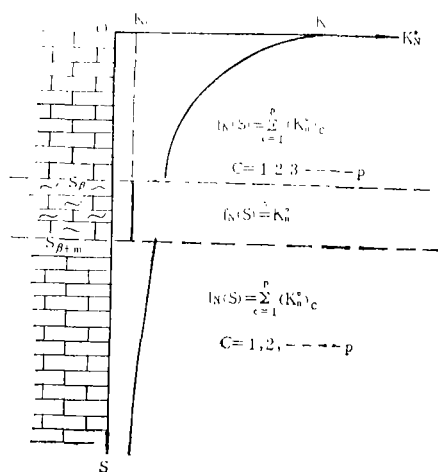
三、渗透性在地层剖面上不连续

实际上，岩层渗透性随埋深的上述变化律，在整个地层剖面上是多次不连续的。不连续有如下两种常见的情况。

1. $K_N^0 = k_N^0 e^{-\alpha_N S}$ 曲线有时在某个间层的分布范围内骤然剧减(……)(但仍大于零)，如图 2 所示。

巨厚岩层层状裂隙网络的垂层渗透主值，在正常情况下等于把构成该网络的各方向裂隙组的垂层渗透度主值迭加起来，即

$$K_N^0 \approx \sum_{c=1}^p (k_n^0)_c \quad c = 1, 2, 3, \dots, p$$

图2 常见的 K_N^0 不连续Fig. 2 The usual discontinuity of K_N^0 depletion curve.

然而概率密度较大的方向裂隙组,受沉积韵律控制,容易随岩性岩相的细微变异,突然在个别间层的顶界之上和底界之下同步收敛。能连续穿透这个间层的只剩下概率密度最小的方向裂隙组了。

设这个方向裂隙组的垂层渗透度主值为 $\langle k_n^0 \rangle$ 。这里加上角括号以示该组裂隙的切穿长度 l 与被切间层的厚度 m 之比大于1,并且上下都超越间层的顶底界面(称这类裂隙为超切裂隙)。这时,在间层 $S_\beta \sim S_{\beta+m}$ 区间内,整个巨厚岩层的 $K_N^0 = \langle K_n^0 \rangle$ 。尽管构成间层内部的单层层状裂隙网络还有其它的方向裂隙组,由于它们的切穿长度与被切间层厚度之比均小于1(称这类裂隙为内切裂隙),它们的垂层渗透度主值一概不计入整个巨厚岩层的 K_N^0 之内。

以间层为界,可将巨厚岩层分成上部和下部两段。间层在两段岩层之间相当于弱透水层,上段和下段岩层中的液体仅靠垂层渗透度主值为 $\langle k_n^0 \rangle$ 的那个超切裂隙组发生水力联系。无疑,间层的内切裂隙系统与岩层上段和下段的各方向裂隙组可以在间层的顶底界面上交汇,形成垂向透水十分微弱的点状链式结构,它们对上下两段岩层之间的液体越流,也起着控制作用。

依巨厚基岩含水层的岩性岩相在剖面上的变异,上述 K_N^0 的不连续可能多次出现。这是深部疏干巨厚基岩含水层时形成双层(甚至多层)水位的最主要、最常见的条件。

如果矿井仅从深部疏干含水层,自下部岩层涌入矿井排水设施的裂隙水流或岩溶裂隙水流,它的连续性在垂向上因 K_N^0 的不连续被限制在深度 $S_{\beta+m}$ 的间层底界之下,而上部岩层中的地下水只能通过间层以少量渗漏的形式作为矿井涌水量的补给来源。渗漏速度为

$$\langle k_n^0 \rangle \frac{\partial H}{\partial S}$$

于是,原先在自然条件下只有唯一的统一水面的巨厚基岩含水层,在人为排水的长期作用下,同一水位被逐渐拉开,分别在其上部和下部岩层中形成双层水位。

2. $K_N^0 = k_n^0 e^{-\alpha_n S}$ 和 $K_{II}^0 = k_{II}^0 e^{-\alpha_{II} S}$ 曲线有时在某个深度上骤然剧增,如图3所示。

在有岩浆入侵的条件下,在围岩蚀变带及其上方的一定范围内,岩石受岩浆活动的影响,次生构造裂隙系统发育。倘若它们不被后期热液填充,随埋藏深度已经减弱了的岩层渗

透性，会在这个范围内骤然增强。对碳酸盐岩地层而言，后期岩溶作用使岩层渗透性在接触带内的不连续，表现得更加明显。

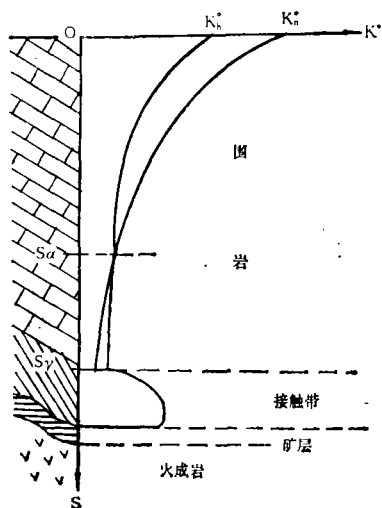


图 3 渗透性在接触带内的不连续

Fig. 3 The discontinuity of permeability in the contact zone with igneous rocks.

以 S_γ 表示围岩渗透性受岩浆活动影响范围的上限。一旦发生下述情况，即 $S > S_\gamma$ 范围内岩层的顺层渗透度主值大于这个范围上方邻近领域 $S = S_\gamma - \Delta S$ 的岩层垂层渗透度主值，或者表为：

$$k_n^0 e^{-\alpha N(S_\gamma + \Delta S)} > k_n^0 e^{-\alpha N(S_\gamma - \Delta S)}$$

矽卡岩型多金属矿床则具有一个较强透水的顶板含水层。

利用岩层渗透性在地层剖面上的这种不连续，从深部直接疏干矿层顶板含水层，同样能在巨厚基岩含水层中形成双层水位。若这个渗透性骤然增大的接触带与地表水或上覆松散沉积层中的孔隙水沟通，矿井涌水量则要大些。

四、封闭的水文地质开启程度

对岩层渗透性随埋藏深度变化规律及其在地层剖面上不连续的分析，可推断巨厚基岩含水层的深部存在一个水文地质开启程度封闭的或较封闭的环境。在此环境中，当深部疏干含水层而形成双层水位时，矿井涌水量不会过大。相反，在巨厚基岩含水层的浅部，水文地质开启程度总是开放的或较开放的，一般具有相当充沛的天然补给资源。在此条件下，当深部疏干含水层而形成双层水位时，尽管通过渗透性骤然剧减的间层向含水层深部渗漏一些水量，含水层的浅部仍是一个良好的供水水源。

必须指出，巨厚岩层层状裂隙网络的渗透性随埋藏深度的变化律及其在剖面上的不连续，在某种天然的或人为的因素影响之下，作为形成双层水位的条件，可能遭到破坏。因此，需要注意改造和维护巨厚基岩含水层深部的水文地质封闭程度。

沿深切的张性断裂带，应选择 $\langle k_n^0 \rangle$ 最小的那个间层，在它的底界 $S_{\beta+m}$ 深度上对概率密度小的那些强透水的脉状裂隙系统，特别对所谓下超切裂隙灌浆形成止水帷幕。

采取适当的工程措施,切断渗透性较好的围岩接触带与地表水或上覆松散沉积层中孔隙水的联系。

应用回填或留足保安矿柱等采矿方法保护顶板,防止采空区上方岩体产生大量塌陷裂隙。

五、建 议

从形成双层水位的条件来看,无论北方或南方,岩层渗透性随埋藏深度的变化律及其在剖面上的各种不连续,在威胁各类矿产开采的巨厚碳酸盐岩含水层中具有普遍意义。因而,从深部疏干巨厚基岩含水层的方法具有广泛应用的良好前景。再从这种疏干方法带来的经济效益来看,开展深部疏干巨厚基岩含水层形成双层水位机制的研究,并在此基础上探讨各种有关的水文地质计算方法,就十分必要了。

可选择地质及水文地质条件合适的矿区,在现场进行下列工作:

1.应用渗透度张量理论,在巨厚碳酸盐岩地层的天然和人工露头广泛进行裂隙水力参数的统计测量,尤其对各方向裂隙组的垂层相对切穿程度要分别做系统的观测。查明该岩层渗透性随埋藏深度的变化律及其在剖面上的不连续。

2.在不同深度上从钻孔和坑道采取岩样。利用大裂隙与微观裂隙在系统格局方面的力学和几何相似性,把这些岩样进行镜下扫描,计量微观裂隙系统的几何参数,并测定裂隙张度随环压变化函数的系数值,以补充和检验现场调查的结果。

3.在矿床水文地质勘探过程中应做好两件事。一,在典型地段布置钻孔,对整个巨厚碳酸盐岩地层自上而下每10~30米一段分段做压水试验;二,根据裂隙调查资料,以深度小于 S_{α} 为上段,以深度大于 $S_{\beta+m}$ 或 S_{γ} 为下段,对巨厚碳酸盐岩含水层进行分段,并进行分段多孔大流量抽水试验。将分段观测孔保存下来,做为矿井深部疏干巨厚含水层时的监测孔。

同时在实验室内开展双层水位形成机制的研究。

首先,在大型渗流槽中按实测资料建立各向异性非均质的物理概念模型,它应表征巨厚基岩含水层的渗透性随埋藏深度的变化律及其在剖面上不连续的总体特点。然后进行不同深度的放水疏干模拟实验。实验条件应与该含水层的天然边界条件一致。在实验中,考察发生双层水位的各种因素,观察双层水位拉开及其形成过程,并探测双层水流的诸运动要素之间及它们与岩层参数之间的数量关系。在此基础上,建立一个能恰当描述同一含水层中双层水流的数学模型。探讨近似解析解、数值解及电网络模拟等有关的水文地质计算方法。

通过水力物理模拟、电模拟,以及有关水文地质计算,在选定最佳放水疏干深度和预测矿井涌水量后,应再回到现场进行检验。选择巨厚含水层深部的水文地质开启程度封闭较好的矿段,在预定深度进行实际的矿井疏干试验。

总之,建议科技领导部门对这项研究给予重视,把“深部疏干巨厚基岩含水层形成双层水位的机制”课题列入科研规划。我们期待尽快开展这个课题的研究工作,争取深部疏干方法能早日为矿业生产开创新局面发挥作用。

参 考 文 献

- 〔1〕 吴章键 对矿区地下水动态观测工作的一些认识 水文地质工程地质 1981年第3期
〔2〕 陈光亮 金岭铁矿铁山矿床水文地质条件与疏干和供水的关系 山东冶金矿山 1982年第二期
〔3〕 田永生、迟安堂 关于矿区水文地质勘探的两个问题 水文地质工程地质 1983年第3期

AN INITIAL APPROACH TO THE ORIGINATION MECHANISM OF "DOUBLE-LEVEL FLOW" IN A THICK AQUIFER

Tian Kaiming

(Beijing Graduate School, Wuhan College of Geology)

In Jinling iron mine, "double-level flow" is presented in the middle Ordovician carbonate formation where groundwater is abstracted underground only from the lower part of the aquifer at deep depth below surface. Then the original groundwater table divides into two. A high stage of water table still preserves throughout the upper part of the aquifer. So that the aquifer, as an exploitable urban water supply, is relatively undisturbed. On the soil mantle, therefore, the surface subsidency never occurs. In the mean time, tearing from the original groundwater table, a drawdown funnel has gradually taken shape in the lower part of the aquifer. At long last, the inflow of groundwater into the mine keeps up constant and becomes to such degree that can easily be drained out to the surface.

The origination of "double-level flow" may be due to one or several of the following causes:

(1) With the increasing of the depth, both the main values of rock permeability K_N^0 (perpendicular to the strata) and K_H^0 (parallel to the strata) decrease progressively. But the former decreases more quickly than the latter in common. Consequently, from a certain distance below surface, defined as S_α (See Fig. 1), the permeability ellipse of aquifer transforms from upright into horizontal. In other words, the anisotropy of the carbonate formation above the level of S_α is characterized by $K_N^0 > K_H^0$, whereas below the level of S_α , by $K_N^0 < K_H^0$.

(2) On K_N^0 depletion curve of carbonate formation often exists one discontinuity corresponding to the distribution margin of every shaly intercalation shown in Fig. 2 .

(3) In the contact zone with igneous rocks, the main permeability K_N^0 and K_H^0 depletion curves of carbonate formation sometimes suddenly arise as shown in Fig. 3 .

(4) The part of the aquifer below $S\alpha$ or $S\beta$ is generally found in rather stagnant environment of water-alternation what it perhaps lacks in lateral replenishments.

Arising from the advantages of "double-level flow", the Jinling iron mine has cut down expenses enormously for underground drainage. Hence the future approach to the origination mechanism of "double-level flow" is not only of intrinsic scientific interest but also of great practical importance.

The outlines of future approach has already been provided in this paper.