

阿里机场盐渍化冻土工程地质特性及其改良

孙俊¹, 张旭²

(1. 中国民航机场建设集团公司西南分公司, 四川 成都 610202;

2. 成都军区空军勘察设计院, 四川 成都 610041)

摘要: 阿里机场位于西藏阿里地区, 是我国海拔第二高机场, 处于高原寒带季风干旱气候区, 年平均气温在0℃以下。由于机场场区地下水埋深浅, 且含有一定盐分, 形成了盐渍化季节性冻土。盐渍化季节性冻土工程地质性质独特, 在我国机场建设历史上尚属首次发现, 在设计和施工中无类似工程经验可以借鉴。本文通过对盐渍化季节性冻土工程地质特性的研究, 提出了有针对性的技术处理方案, 并运用到工程建设中。机场经两年多的运行和相关监测验证, 该技术方法成功解决了机场场道地基盐渍化季节性冻土问题, 从而为我国类似高原机场建设积累了宝贵经验。

关键词: 阿里机场; 盐渍化冻土; 工程地质特性; 防治措施

中图分类号: P642.16; TU445

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2013)01-0093-07

阿里机场位于西藏自治区的西北部, 地处藏北高原, 为喜马拉雅山脉、昆仑山脉和冈底斯山脉所环抱。海拔4 274.07m, 是我国海拔第二高机场。飞行区建设规模为4D, 跑道宽45m, 两侧道肩宽7.5m, 跑道长度4 500m。机场属于高原寒带季风干旱气候区, 季节性冻土广泛分布, 冻土厚度2.4m, 且地下水含有一定盐分, 水位接近地面, 土壤盐渍化严重。由此产生了在我国机场建设史上遇到的独一无二的盐渍化季节性冻土, 盐渍化季节性冻土工程地质性质独特, 所导致的工程地质问题对阿里机场危害严重。就我国机场建设而言, 在以往的设计和施工中尚没有工程经验可以借鉴。

本文通过对盐渍化季节性冻土工程地质特性的研究, 针对其所产生的工程地质问题以及对机场的危害, 提出了相应的防治措施, 并运用到工程建设中, 通过两年多相关监测和机场的正常运行, 证明所研究并采用的技术方法成功的解决了机场场道地基盐渍化季节性冻土问题, 为我国类似高原机场建设积累了宝贵经验。

1 场区气候特征

阿里机场所在地的气候受其所处纬度、距海洋远、海拔高以及与此相关的大气环流所控制。阿里位于北半球中纬度带, 太阳辐射角度大, 能接受较多的阳光照射从而获得丰富的光能和热量, 同时它又处在西北环

流控制影响下, 是冬半年控制阿里的主要气候系统, 因此, 冬半年气候干燥, 降水稀少, 温差大, 大陆性强。

青藏高原作为地球上一个巨大的凸体, 是耸立在对流层中部的巨大“热岛”。在夏季的强烈加热作用下, 使中、低空产生巨大的辐射, 形成温高压, 即“青藏高原”。这是一个巨大的环流系统。这个系统不仅影响到西南季风深入高原内部的强度, 而且影响着羌塘高原。尤其是其西部的阿里地区, 产生了独特的极为严酷干燥少雨的大陆气候特征。

在上述因素的控制与综合作用下, 阿里地区的气候特点是: ①空气稀薄缺氧, 气温低, 降水量小、蒸发量大, 太阳辐射强, 日照充足, 年、日温差均较大, 霜冻期长, 干冷季与温暖季变化分明, 前者较长(10月至次年5月), 后者较短(6~9月)。②由于高原的多次抬升, 形成地域高低不一而复杂的地形单元, 也导致气候条件复杂多变的特性。③地处高原寒带季风干旱地区, 7~8月为雨季, 年降水量80mm左右, 降水集中, 冬春季多大风。阿里机场所在地主要气候要素见表1。

2 场区地质环境条件

2.1 工程地质条件

场区地形开阔平坦, 大部分为砂卵石荒滩(戈壁), 场区西北段处于湿地边缘, 场区内局部分布积水洼地和冲沟。总体地势呈西南高, 北东低, 东南端略高于西北端, 平均坡度1‰~2‰, 场地范围高程在4 260~4 277 m之间, 相对高差17m。机场位于噶尔河的一级阶地和河漫滩上, 按土体工程地质特征划分为3个亚区(图1)。

收稿日期: 2012-05-08; 修订日期: 2012-06-27

作者简介: 孙俊(1974-), 男, 高级工程师, 主要从事山区、高原民用机场设计咨询工作。

E-mail: 610202-2001@163.com

表 1 阿里机场所在地气候要素表
Table 1 Climate elements of the Ali airport area

要素	年平均气温 (℃)	最冷月平均气温 (℃)	最热月平均气温 (℃)	最低气温 (℃)	无霜期 (天)	降水量 年平均 (mm)	6-9月 降雨量 (mm)	年平均 蒸发量 (mm)	最大积 雪厚度 (cm)	冰雹 日数 (天)	雪暴 日数 (天)	大风 日数(天) (≥17.0(m/s))
阿里机场	-2	-19.3	21.3	-33.7	96	84.3	77.8	2707.2	10	3.7	18.4	155.0

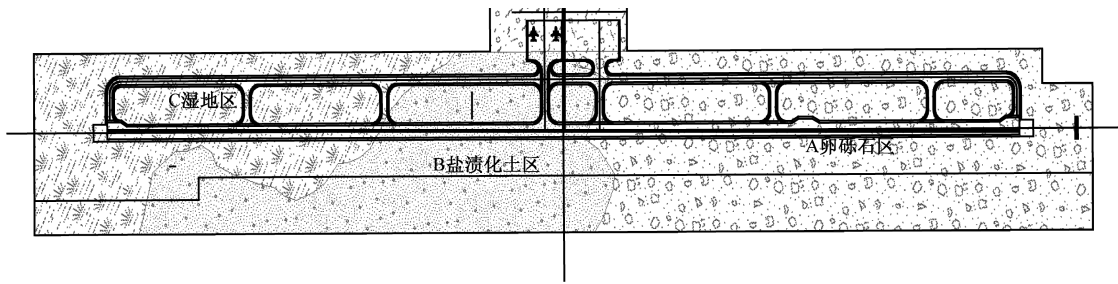


图 1 机场工程地质分区示意图
Fig. 1 Section of engineering geology at the Ali airport

A 区(砂卵石区): 主要分布在跑道中点东南 150~2 600m, 为噶尔河一级阶地。

B 区(盐渍化冻土区): 主要分布在跑道中心点东南 150m 至跑道中心点西北 750m 范围, 为噶尔河一级阶地和河漫滩的过渡地段。

C 区(湿地区): 主要分布在跑道中心点西北 750~2 600m 范围, 为河漫滩。

3 个亚区主要由第四系全新统圆砾和砂卵石组成, 仅表层略有不同: A 区表层分布有很薄的杂填土, 局部有粉土、粉细砂土层, 少见盐渍化现象; B 区表层主要以杂填土为主, 局部分布粉土、粉细砂土层, 表层呈白色, 盐渍化严重; C 区表层主要以耕植土、素填土及粉细砂为主, 具有盐渍化及冻土性质。场地土的工程地质参数分析见表 2。

表 2 盐渍化冻土的工程地质参数
Table 2 Engineering geological data of the salted frozen soil

分区	卵石						圆砾		中粗砂		粉细砂	
	密实		中密		稍密		承载力 标准值 (kPa)	变形 模量 (MPa)	承载力 标准值 (kPa)	变形 模量 (MPa)	承载力 标准值 (kPa)	变形 模量 (MPa)
	承载力 标准值 (kPa)	变形 模量 (MPa)	承载力 标准值 (kPa)	变形 模量 (MPa)	承载力 标准值 (kPa)	变形 模量 (MPa)						
A 区	850	56	616	40	260	18	240	16			98	7
B 区	830	54	613	39.8	250	17	240	17	120	9	97	7
C 区	736	48	635	37	240	18	230	18	100	8	90	6.5

2.2 水文地质条件

2.2.1 地表水

(1) 噶尔河

噶尔河位于冈底斯山脉南侧, 两岸约有 18 条支流汇入, 流域内有少量冰川, 河流主要接受地下水、雨水、冰雪融水补给。河流多年平均流量 3.77m³/s, 最大水深 0.65m, 洪痕线高出水面 2m, 计算频率为 1% 的洪峰流量 293m³/s。全年最大洪水期出现在 7、8 月份, 洪峰过程陡涨陡落, 持续时间短, 河水化学类型为 HCO₃-Ca·Na·Mg 型水。

(2) 湿地水

以河漫滩沼泽为主, 主要接受河水和大气降水补给。由于地下水水位较高, 水中溶解的盐分随着水的蒸发而变成粉末状留在土壤表层, 这些盐沼在干燥缺水的条件下进一步发展形成了盐碱滩。这类湿地一般植物较少, 仅有稀疏的草本植物或者无植物生长。

2.2.2 地下水

场区主要含水层为卵砾石层, 赋存孔隙潜水。主要接受大气降水、地表水和阿依拉山基岩裂隙水补给, 在噶尔河床或漫滩排泄。地下水位埋深 0~2.5m, 一般在

0.30m 左右。通过 1 个水文年的地下水动态观察,场区地下水变幅在 0.5~1.5m,季节性动态变化。

地下水化学类型主要为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型水。溶解性总固体一般 0.2~0.3g/L,个别为 0.06g/L。pH 值一般为 7.6~8.1,属弱碱性水,总硬度(以 CaCO_3 计)为 100~160mg/L,属微硬水。

3 盐渍化冻土的工程地质特性

盐渍化冻土的工程地质特性主要反映在盐分含量

及其物理力学性质上,为此进行了盐渍化冻土的易溶盐含量试验、冻胀性和融沉性试验以及压缩性和抗剪试验。

3.1 盐渍化冻土的盐分分析

通过盐渍土的易溶盐含量试验,测出了机场土体中易溶盐含量(DT)、酸碱度(pH)、主要离子(CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+)和有机质含量的数据(表 3)。

表 3 阿里机场盐渍土区化学成分统计表
Table 3 Chemical components of the salty soil at the Ali airport

深度 (m)	项目 数值	K^+ (mg/kg)	Na^+ (mg/kg)	Ca^{2+} (mg/kg)	Mg^{2+} (mg/kg)	Cl^- (mg/kg)	SO_4^{2-} (mg/kg)	CO_3^{2-} (mg/kg)	HCO_3^- (mg/kg)	易溶盐 总量	pH
0-0.05	最大值	170.00	580.00	185.40	39.50	258.80	554.00	480.10	305.10	2043.7	9.3
	最小值	10.50	55.00	15.05	6.10	10.65	60.00	0.00	15.25	460.0	7.4
	平均值	55.65	203.85	55.88	17.77	118.10	245.85	160.39	132.59	1016.6	8.5
0.05-0.25	最大值	75.00	880.00	55.1	30.40	354.50	153.70	690.00	396.60	2912.7	9.1
	最小值	7.00	10.00	20.05	6.10	8.85	37.60	0.00	137.30	334.6	7.2
	平均值	23.31	123.85	39.50	16.07	55.77	144.72	64.62	220.61	714.52	8.1
0.25-0.5	最大值	33.50	180.00	50.10	30.4	56.75	152.4	135	289.8	884	8.8
	最小值	4.00	5.00	20.05	6.1	3.55	40	0	106.8	240	7.3
	平均值	12.77	43.46	32.78	15.19	21.14	63	12.69	199.48	402.48	7.9
0.5-0.75	最大值	6	195	40.1	18.25	46.1	130.4	120	305.1	647.6	8.7
	最小值	5.5	5	25.05	9.1	7.1	46	0	213.6	355.7	7.4
	平均值	5.75	100	32.58	13.66	26.6	88.2	60	259.35	501.65	8.1

数据分析发现场区不同深度盐渍土的含盐量和化学成分不同。从图 2、3 含盐量及易溶盐含量与深度的关系曲线可知:深度越浅,含盐量越高;深度越深,含盐量越少。按照含盐性质分类,阿里机场的盐渍土为亚硫酸盐渍土,亚硫酸盐平均含盐量在 5.02%~10.16% 之间,其中 0.05m 以上为强盐渍土,0.05m 至地下水位埋深深度 0.75m 左右,为中盐渍土。由此可得到盐渍土分布范围以及不同部位盐渍化程度,从而为确定相应的工程技术方案和处理措施奠定基础。

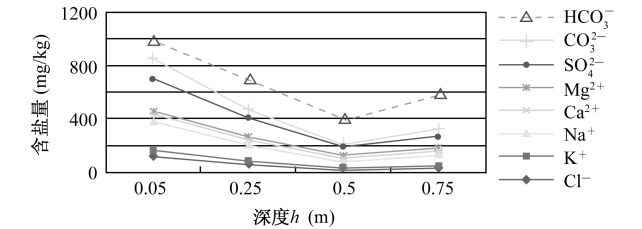


图 2 含盐量与深度的关系
Fig. 2 Soil content vs depth

3.2 盐渍化冻土的冻胀性试验分析

通过零下 -20℃ 冻结 24h 冻胀性试验数据分析

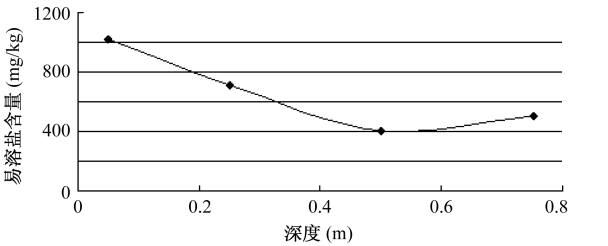


图 3 易溶盐含量与深度的关系
Fig. 3 Soluble salt content vs depth

(表 4),表明场区细砂、粉砂和粉土为弱冻胀—强冻胀,圆砾不冻胀。

3.3 盐渍化冻土的融沉试验分析

通过盐渍化冻土融沉试验,可分析得出场区的细砂、粉砂、粉土为弱融沉—融沉,圆砾不融沉(表 5)。

3.4 盐渍化冻土的压缩及抗剪试验

为了掌握场区盐渍化冻土在融化和冻结状态下压缩系数和 $C、\varphi$ 值,进行了压缩性和抗剪性试验(表 6),从而为道槽和边坡稳定性计算及相应工程处理措施提供依据。

表 4 阿里机场季节冻土冻胀性分级
Table 4 Ice-expand classification of seasonal ice soil at the Ali airport

区域	土质 类型	取样 深度 (cm)	冻前天 然含水 量(%)	冻结期间 -20℃ 冻			
				地下水位 距冻结面 的距离 (m)	结 24h 冻胀率 (%)	冻胀 等级	冻胀 类别
B 区	圆砾	15-35	4.97	≤1.0	0.15	I	不冻胀
		20-40	19.20	≤1.5	7.28	IV	强冻胀
	粉土	40-65	17.46	≤1.5	2.58	II	弱冻胀
		60-80	18.68	≤1.5	4.35	III	冻胀
	细砂	45-60	22.62	≤1.0	0.81	I	不冻胀
		60-80	21.67	≤1.0	1.45	II	弱冻胀
	粉砂	60-80	19.14	≤1.0	3.45	II	弱冻胀
	C 区	圆砾	15-35	6.31	≤1.0	0.89	I
15-30			26.16	≤1.5	3.16	II	弱冻胀
粉土		30-45	17.73	≤1.5	6.01	IV	强冻胀
		45-70	19.64	≤1.5	3.64	III	冻胀
细砂		10-25	25.01	≤1.0	2.45	II	弱冻胀
		30-45	22.16	≤1.0	4.06	III	冻胀
		50-65	23.50	≤1.0	4.15	III	冻胀
		65-80	26.63	≤1.0	1.51	II	弱冻胀
粉砂		35-50	16.91	≤1.0	2.06	II	弱冻胀
		50-65	29.28	≤1.0	9.09	IV	强冻胀
		65-80	26.62	≤1.0	2.10	II	弱冻胀

表 5 阿里机场季节性冻土的融沉性分级
Table 5 Soluble sink classification of ice soil at the Ali airport

区域	土质类型	取样深度 (cm)	总含水量 (%)	平均融沉系数	融沉等级	融沉类别
B 区	圆砾	15 – 35	6. 31	0. 743	I	不融沉
	粉土	20 – 45	19. 20	6. 660	Ⅲ	融沉
		45 – 65	17. 46	2. 384	Ⅱ	弱融沉
	细砂	45 – 60	22. 62	0. 665	I	不融沉
		60 – 80	21. 67	1. 291	Ⅱ	弱融沉
	粉砂	60 – 80	19. 14	3. 204	Ⅲ	融沉
C 区	圆砾	20 – 35	4. 97	0. 010	I	不融沉
	粉土	15 – 30	26. 16	2. 932	Ⅱ	弱融沉
		30 – 45	17. 73	5. 542	Ⅲ	融沉
		45 – 60	19. 64	3. 382	Ⅲ	融沉
		60 – 80	21. 93	6. 538	Ⅲ	融沉
		10 – 30	25. 01	2. 255	Ⅱ	弱融沉
	细砂	30 – 50	22. 16	3. 772	Ⅲ	融沉
		50 – 80	23. 50	3. 850	Ⅲ	融沉
		粉砂	35 – 50	16. 91	1. 886	Ⅱ
	50 – 65		29. 28	8. 209	Ⅲ	融沉
	65 – 80		26. 62	1. 920	Ⅱ	弱融沉

表 6 盐渍化冻土的力学参数
Table 6 Mechanical parameters of the salty ice soil

区域	土质类型	50~100kPa	100~200kPa	融化状态下 (20±1℃)		冻结状态下 (20±1℃)	
		压缩系数 (kPa ⁻¹)	压缩系数 (kPa ⁻¹)	粘聚力 C(kPa)	内摩擦 角 φ(°)	粘聚力 C(kPa)	内摩擦 角 φ(°)
B 区	圆砾	0.261	0.174	1.14	38.10	5.80	34.50
	粉土	0.239	0.302	9.66	32.07	23.67	35.82
	细砂	0.447	0.190	21.74	30.63	47.62	38.74
	粉砂	0.368	0.193	0.87	30.43	34.29	33.46
C 区	圆砾	0.366	0.204	3.43	39.52	5.31	34.01
	粉土	0.146	0.196	8.69	35.66	20.77	34.34
	细砂	0.244	0.143	14.01	36.95	17.87	34.34
	粉砂	0.236	0.143	19.42	30.84	20.77	34.87

4 盐渍化冻土所产生的工程地质问题及其对机场的危害

阿里机场盐渍化冻土的特点是既有盐渍土的溶陷性、盐胀性、腐蚀性,也有冻土的冻胀性和融陷性。相应所产生的工程地质问题是机场地基溶陷、盐胀、腐蚀及冻胀和融陷等,从而破坏道面的使用功能。

4.1 地基溶陷及其对机场的危害

具有溶陷性的盐渍土地基一旦浸水后,因土中可溶盐溶解,结构强度丧失,使地基承载力迅速降低,并产生较大的沉陷导致其上建筑物或构筑物产生相应的沉降,由于浸水通常是不均匀的,所以建筑物或构筑物的沉降也是不均匀的,从而导致建筑物或构筑物的开裂和破坏,这一点对机场道面影响最大。

4.2 地基盐胀及其对机场的危害

从盐渍土地基危害研究情况看,盐胀对机场工程的危害主要发生在硫酸盐含量高的地区,尤其在土温或温度变化大的土层范围内。在阿里地区主要体现在地表下一定深度范围内发生,只对基础埋深较浅的建筑物或构筑物构成威胁,基础埋深大于 1.2m 的建筑物,尚未发现因盐胀引起的破坏。

4.3 腐蚀及其对机场的危害

建设工程受腐蚀的危害在阿里地区相当普遍和严重。通过实地调查和分析研究发现,建筑物或构筑物因腐蚀而破坏的原因来自两方面:一是盐渍土中的含盐水分,包括含盐的地下水,直接浸入基础、管、沟等地下设施的材料空隙内,造成材料的物理侵蚀和化学腐蚀;二是如果基础等未设防潮层或防潮层施工质量有问题,则含盐水分还能通过毛细管作用,侵入地面以上的建筑结构中,使之腐蚀破坏。

4.4 地基冻胀及其对机场的危害

冻胀对机场工程有着严重的危害,这是由于地基土中存在着无数的毛细管,地下水主要通过土体中的毛细管上升到基础内部,冬季来临,当大气负温传入地下,地表中的自由水首先冻结成冰晶体,随着气温的继续下降,结合水的最外层也开始冻结,使冰晶体逐渐扩大,并在土层中形成冰夹层,水分冰冻后体积将增加9%左右,使土体随着膨胀发生隆起,出现冻胀现象,土中细粒越多,形成毛细管就越多,对基础的影响就越大。

阿里地区冰冻线在2.4m左右,位于冻胀区内的基础如果埋置深度浅于冻结深度,或者基础厚度小于冻结深度,就会受到土基冻胀力的作用,如果冻胀力大于基底上的荷载,基础就有可能被不均匀地抬起,使基础及上部构筑物开裂。

4.5 地基土融沉及对机场的危害

当温度升高土层解冻时,土基中积聚的冰晶体融化,使土中含水量大大增加,加之细粒土排水能力差,或土基下还有土层未解冻,上面已融化的土基中的水渗透不到土基深处,使土层处于饱和软化状态,强度大

大减低,导致基础发生下陷,称为融陷,同时产生唧泥现象,即翻浆冒泥。

不论冻胀或融陷,一般都是不均匀的,这样每年冻融交替,造成基础及上部构筑物开裂,在地下水位较高、土中细粒多、承载力差的土基上修筑的构筑物冻害尤为严重,这在阿里地区比较普遍。

5 盐渍化季节性冻土的防治措施及效果评价

5.1 防治措施的现场试验分析

为了确保工程质量,在阿里机场工程全面开工之前,我们在上述室内试验成果的基础上,选择了两块区域对盐渍化冻土地基进行了现场试验研究,包含有B区-盐渍化区、C区-湿地区,并在此基础上又划分了4个小区(图4),分别安排现场原地基处理试验和土石方填筑处理试验,并进行了现场检测,为了比较采用复合土工膜做隔离层的填筑体与未采用该方法的填筑体之间盐胀与冻胀现象,为今后场区盐渍化冻土处理提供数据,分别做试验并设置了一定数量的变形观测点进行观测。

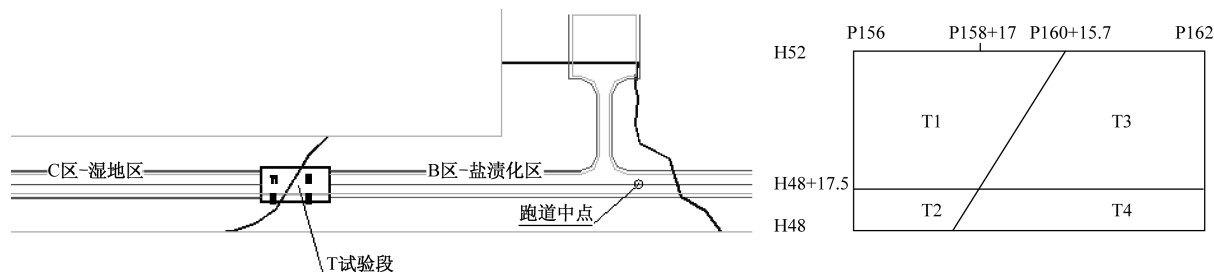


图4 T试验段平面位置及试验小区划分图

Fig. 4 Position of test section and test divisions

针对阿里盐渍土的处理方法可以考虑换填法、隔离法、浸水法、化学改良法等。浸水法是一种压盐法或洗盐法,即用浸水的方法,将地基土中的盐分浸出,随着浸水下渗,把盐分“压”至深层地基中,降低浅层地基土的含盐量,从而消除或减小盐胀的病害影响。对于阿里机场,地下水埋藏浅、地基土渗透性好、砂卵石层构成了良好的含水层,浸水法不仅不现实,还存在再生盐化问题。化学改良法是利用易溶盐中的 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} ,通过离子交换作用,将硫酸钠置换为难溶的硫酸钙、硫酸钡,从而达到抑制盐胀的目的,但化学改良法,造价特别高、工期长、均匀性差,地基土的渗透性好也影响其治理效果。

因此,综合考虑以上因素,阿里机场的盐渍土地基采取换填法(包括施工降排水)与隔离法相结合的方法

进行了现场工程治理试验。

冻土问题的处理方法主要从填料的颗粒组成及成分、温度、冻前含水量、地下水位等方面进行防治,针对阿里机场主要考虑换填法、抬高道槽、无机结合料稳定土保温法、强夯加固法、铺设土工织物等办法,结合工程实际情况和盐渍土的处理方法,采用了换填法、抬高道槽、铺设土工织物和设置防冻层相结合的处理方法。

5.2 具体防治措施

通过对阿里机场前期室内试验和现场试验段的研究,对盐渍化季节性冻土有了科学的认识,试验中通过对不同设计方案和不同处理方法的检测结果分析,并结合一定时间的变形观测点数据分析,来综合评价地基处理效果,并根据地基处理效果针对阿里机场的盐渍化季节性冻土提出了具体的防治措施。

(1) 换填处理

清除道槽及其影响区下覆土、粉土、粉细砂等至稍密圆砾层以上或稍密卵石层以上,即把表层细粒土(耕植土、粉土、粉细砂等)换填为粗粒的砂卵砾石,换填材料要求其含盐量小于 0.3%,最大粒径不得大于虚铺厚度的 2/3,含泥量 < 10%;曲率系数大于 5,不均匀系数以 1~3 为宜,填土的初始含水量宜接近或略大于其最佳含水量的 1%~2%,并保证填料中的水分不冻结。换填的厚度应大于地下水的临界深度,阿里机场控制在 1.0~1.5m 左右,换填材料构成了良好的隔离层,起到阻止盐分向上迁移聚集的作用。换填后,道基强度增高、毛细水上升高度降低(粗粒的砂卵砾石中毛细水上升高度只有 0.4m),控制了道槽有效深度内填料的含水量,可从根本上消除由于盐渍化冻土造成的盐胀、溶陷、冻胀、融陷等病害。

原地面处理之前,尤其重要的是要开挖临时排水沟进行降水,排水沟须在道槽及其影响区坡脚外一定距离进行开挖,必要时采用强排水措施,地基处理过程中的场区降排水的效果对于减少盐渍化季节性冻土危害作用特别大。

(2) 隔离法

在道槽区施工时,当填筑至道槽土基设计标高下 1.0m 时,薄铺 1 层厚度 1~2cm、含盐量不大于 0.3% 的砂层,开始铺填二布一膜的土工材料;然后用橡胶带铺 1 条临时施工道路,运输车辆进入道槽区在橡胶带上行进,以防止在复合土工膜上行对膜层的破坏;再后在复合土工膜上铺设 1 层厚 20cm、含盐量不大于 0.3% 的砂砾石,在砂砾石上铺第一层填料时,采用人工方法平铺,碾压时,采用先静压、再微振、最后强振的压实工艺,既保证了压实度、稳定性,也保护了土工膜。

(3) 防冻层

为了防止道槽土基出现冻害而影响道面的使用功能,对于道槽土基顶面标高下 0.8m 范围内需要设置防冻层,厚度 0.8m。防冻层采用的填料中细颗粒的含量和粒径要严格控制,其中小于 0.05mm 颗粒的含量应控制在 6% 以下,最大粒径应小于 15cm,含盐量不大于 0.3%。

(4) 抬高道槽

考虑到阿里机场地下水位埋深浅,变化幅度大,机场部分区域位于湿地内,加上阿里机场填方料毛细水上升高度为 0.4m,综合分析临界冻结深度、毛细水上升高度及一定的安全高度,道槽设计标高至少抬升到冻前地下水位 2.4m,同时考虑到机场附近噶尔河五十

年一遇洪水的设防问题,将机场整个道槽区的标高抬高 2.6~3.8m,有效解决了盐渍化冻土危害和洪水威胁问题。

(5) 永久性排水系统防治法

考虑到阿里机场周边水系发达,补给源充沛,为了保障治理效果,结合机场的排水设计进行了永久性排水系统防治。在飞行区土方平整区周边设置场界沟,采用钢筋混凝土矩形结构,沟深在 1.2~2.0m,基础设置在冻土层以下;在机场附近的山脚下设置截洪沟,结构形式为梯形土明沟,将山上的来水引流到噶尔河内,同时恢复由于排水系统破坏的路网。

5.3 防治效果评价

在实际施工中,由于地下水位比较浅,降排水问题感觉比较困难,必要时采用了强排水措施。同时对填料颗粒组成要求比较高,在填料挑选及处理上要提前准备。按照上述防治措施施工,从检测数据来看能够满足设计要求(图 5)。

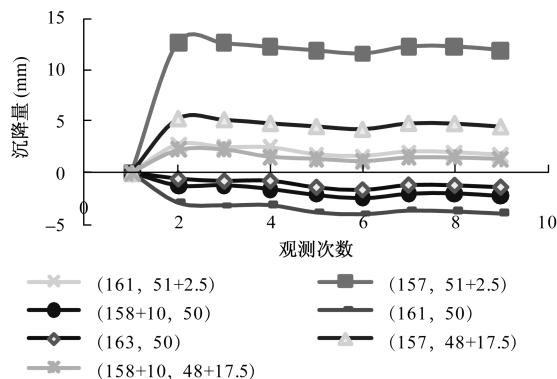


图 5 沉降观测曲线图

Fig. 5 Diagram of subsidence observation

2012 年 3 月,通过采用世界上先进的机场专用检测设备落锤式弯沉仪(FWD)、平整度仪、钻孔取样、道面表面目视调查和历史数据调查等设备和方式,根据 FAA 的标准和民航通用做法对机场道面及地基进行了一系列的调查和检测,并对检测结果进行了分析,得到如下结果:(1)道面调查结果显示跑道总体道面 PCI 值为 97,评价为“优”;(2)跑道国际平整度指数 IRI 均值小于 2m/km,平整度非常好。(3)冲击劲度模量 ISM 能够直接反映跑道道面板和基础的综合承载力,阿里机场的跑道 ISM 值较高,全部大于 3 000kgf/mils,且 ISM 值分布较均匀;跑道传荷能力很好且不存在脱空现象。(4)混凝土钻件劈裂抗拉强度平均值为 5.86MPa,95% 保证率的弯拉强度为 5.1MPa。(5)跑道 PCN 值为 PCN72/R/B/X/T;(6)通

过计算,土基反应模量为 79MN/m^3 ,基层顶面反应模量 125MN/m^3 。

综上所述,经过处理的盐渍化季节性冻土地基上的道面综合评价为优良,完全满足使用机型要求,证明处理盐渍土季节性冻土的方法是有效的。

经过机场运营这段时间的检验,阿里机场地基处理过程中的盐渍化季节性冻土问题得到了有效防治,取得的经验可作为同类机场的借鉴,值得注意的是不同地区有不同的土性,应注重土体的认识和当地已建成工程的调研。

参考文献:

- [1] 中国人民解放军成都空军勘察设计院. 西藏自治区阿里机场工程地质详细勘察报告[R]. 2007. [Prosehest and Design Institute of Chengdu Command Airforce. The detailed engineering survey report of Ali airport, Tibet[R]. 2007. (in Chinese)]
- [2] 西藏阿里昆莎民用机场建设工程指挥部,中国民航机场建设集团公司. 西藏阿里昆莎民用机场场道地基稳定性研究报告[R]. 2008. [Tibet Ali Airport

Construction Command, China Airport Construction Group Corporation of CAAC. Ali Airport, Tibet, Roadbed Satbility Study Report. [R]. 2008. (in Chiese)]

- [3] GB50021 - 2001 岩土工程勘察规范[S]. 2002. [GB50021 - 2001 Code for investigation of geotechnical engineering[S]. 2002. (in Chinese)]
- [4] TB10038 - 2012 铁路工程特殊岩土工程勘察规程[S]. 2012. [TB10038 - 2012 Code for Special Soil and Rock Investigation of Railway Engineering[S]. 2002. (in Chinese)]
- [5] GB50324 - 2001 冻土工程地质勘察规范[S]. 2001. [GB50324 - 2001 Code for Engineering Geological Investigation of Frozen Ground[S]. 2001. (in Chinese)]
- [6] GB/T50123 - 1999 土工试验方法标准[S]. 1999. [GB/T50123 - 1999 Standard for soil test method[S]. 1999. (in Chinese)]
- [7] JTJ051 - 93 公路土工试验规程[S]. 2010. [JTJ051 - 93 Test Method of Soils for Highway Engineering[S]. 2010. (in Chinese)]

Research on engineering geological properties and transformation measurements of salted frozen soil of the Ali airport

SUN Jun¹, ZHANG Xu²

- (1. China Airport Construction Corporation of CAAC Southwest China Branch, Chengdu, Sichuan 610202, China;
2. Prospect and Design Institute of Chengdu Command Airforce, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Ali airport is located in the Ali region of Tibet, which is the second highest airport above sea level in China. It lies in a unique climate zone in the cold plateau with monsoon and drought. The annual average temperature in most of the time of the year is below zero degree centigrade. Groundwater in the shallow aquifer contains salt, forming the salted frozen soil foundation at the airport. The engineering geological properties of the salted frozen soil are unique. There is not any experience in design and construction of airport of this kind in the history of Chinese airport construction. By examining the engineering geological properties, this paper puts forward a series of targeted treatment schemes applied to engineering construction. The airport is now safely operated and monitored by related tests for more than two years. It is proven that these technical schemes have successfully shoveled the problem of seasonal salted frozen soil in the airport runway foundation. The results also provide experience for similar airport construction in the plateau area of China.

Key words: Ali airport; salted frozen soil; engineering geological property; prophylactic-therapeutic measurements

责任编辑:张明霞