

基坑失稳分析及施工中若干问题的思考

陈亮晶, 陈晓知, 易武博, 李建健

(湖南省地质建设工程〈集团〉总公司, 湖南 长沙 410014)

摘 要: 由于基坑施工时对某些关键部位和工艺如锚索成孔、注浆、张拉以及泄水孔的控制不严引发基坑失稳的事故越来越多, 对基坑失稳的影响因素进行了分析。针对长沙地区的地层分布特点, 介绍了基坑施工中容易忽视的问题, 对帷幕的可行性和必要性进行初步分析, 同时对含水层中锚索采用压力循环注浆工艺进行了总结。

关键词: 基坑工程; 失稳; 渗透力; 帷幕; 压力循环注浆

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)05-0061-04

Analysis on Foundation Excavation Instability and Some Problems in Construction/CHEN Liang-jing, CHEN Xiao-zhi, Yi Wu-bo, Li Jian-jian (Hunan Geology & Engineering Construction 〈Group〉 Corporation, Changsha Hunan 410014, China)

Abstract: Accidents happen a lot in excavation engineering because some key processes, such as anchoring boring, grouting, tension and draining hole, are not strictly controlled. Based on the analysis on the influencing factors of excavation instability and according to the stratum distribution characters in Changsha, introduction was made in the problems easily neglected in excavation construction and preliminary analysis was made on the feasibility and necessity of waterproof curtain. The paper summed up construction technology of pressure cycle grouting of anchor cable in aquifer.

Key words: excavation engineering; instability; seepage force; curtain; pressure cycle grouting

0 引言

随着城市的发展,深基坑工程项目越来越多,由于大部分基坑是临时性工程,因此对这类工程重视不够,基坑失稳事故频发,同时对周边环境造成破坏,一些项目造成的经济损失和社会影响巨大。基坑失稳事故的影响因素比较多,通过对失稳事故的调查分析总结基坑失稳事故的原因,就长沙地区基坑支护形式(土钉墙和桩锚)而言,一般是在成孔、注浆、预应力施加以及泄水孔等方面存在不足而引发的。另外在含水层中施工锚索,由于地下水的影

响,采用普通注浆方法难以取得理想的效果,锚索(杆)抗拔力远远达不到设计要求。为此,笔者结合工程实践,分析基坑失稳的影响因素,总结基坑施工中若干问题的处理经验,供同行参考借鉴。

(1)外界因素:水的影响,当连续降水入渗及管道渗漏时,土体自重增大、土体抗剪强度降低而引起土压力增加,同时支护结构强度降低;坡顶超载和动荷载影响。

(2)设计因素。

(3)施工因素。

基坑失稳的影响因素很多,一般情况下是各种因素综合作用所致。本文仅考虑施工因素对基坑稳定性的影响。

2 基坑施工容易忽视的问题

2.1 锚索(杆)土钉成孔

长沙地区土层主要为粉质粘土层,砂砾层以及残积土层(母岩为泥质粉砂岩、板岩等)。目前成孔机械大部分采用地质钻机,配套用的水泵流量很小,受施工水源及排污问题的困扰以及粘性土层可以自动造浆,造成泥浆过浓。在砂砾层中成孔,为防止垮孔和排渣的需要,人为加大泥浆浓度。

当泥浆过浓泥皮过厚时,影响锚固力,有些时候泥浆甚至比水泥浆重度大,水泥浆无法完全置换孔内泥浆。当由于水泵泵量小孔内沉渣偏多时,影响锚固长度。根据锚固力计算公式:

1 基坑失稳的形式及影响因素

1.1 基坑失稳类型

基坑失稳主要有以下几种类型:(1)坡顶变形过大,影响周边的管道和建筑;(2)边坡产生滑移,主要发生在土钉支护类型;(3)倾覆,主要发生在桩锚支护体系中。

1.2 基坑失稳的影响因素

收稿日期:2012-04-03

作者简介:陈亮晶(1965-),男(汉族),湖南双峰人,湖南省地质建设工程(集团)总公司总工程师、注册岩土工程师、高级工程师,岩土工程、水文地质专业,从事岩土工程施工、水文地质工作,湖南省长沙市体院路245号,clj51842@163.com。

$$T = \pi d \sum q_{sik} L_i$$

式中: d ——锚索锚杆土钉孔径; q_{sik} ——土体与锚固体极限摩阻力; L_i ——破裂面以外锚固体长度。

当泥浆过浓泥皮过厚时, q_{sik} 变为泥皮与锚固体的极限摩阻力,而泥皮与锚固体的 q_{sik} 很小。同时泥皮过厚,锚固体直径也变小,沉渣过厚 L_i 变小,这些因素影响了锚杆、锚索、土钉的抗拔承载力。

某地下室工程,抗浮措施采用抗浮锚杆,设计锚杆长18 m,孔径150 mm,锚固土层为砂砾石和残积土,全粘结形式。由于成孔泥浆过浓且未进行清孔,经抗拔试验,锚杆施加20~30 kN荷载后即产生无法继续加载的变形,远低于200 kN的设计值。

2.2 注浆

锚索(杆)土钉成孔后若注浆不及时,对锚索(杆)的抗拔力有以下影响:(1)成孔后,孔周土体应力释放产生松弛,土体松弛后抗剪强度 c 、 φ 值降低,引起土体与锚固体粘结强度降低,进而影响锚固力;(2)对于采用水作为循环液的情况,孔周土体受水浸泡,强度降低,影响锚固力;(3)等待的时间越长,孔壁形成的泥皮越厚,影响孔径大小,影响锚固力。

2.3 预应力施加

当基坑周边有重要建筑物及市政设施时,施工图设计一般采用预应力锚杆锚索。采用预应力锚杆锚索的目的是控制基坑变形,防止周边的设施遭到破坏。

在自然界土体处于平衡状态,当基坑开挖后,坡面土体的受力状态发生改变,即 $\sigma_3 = 0$ 。根据摩尔-库仑破坏准则,土体处于极限平衡时, σ_1 、 σ_3 有如下关系: $\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45 + \varphi/2) + 2c \tan(45 + \varphi/2)$ 或 $\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2(45 - \varphi/2) - 2c \tan(45 - \varphi/2)$ 。

若 $\sigma_1 > \sigma_3 \tan^2(45 + \varphi/2) + 2c \tan(45 + \varphi/2)$ 或 $\sigma_3 < \sigma_1 \tan^2(45 - \varphi/2) - 2c \tan(45 - \varphi/2)$,土体破坏。

当 $\sigma_3 = 0$ 且基坑开挖深度超过自立高度时土体发生破坏变形。若使土体不发生破坏,必须人为施加 σ_3 即施加预应力。若忽视预应力的施加,引起土体松弛产生侧向变形,当土体产生侧向变形引起锚杆锚索被动受力达到一定程度方可阻止土体继续产生变形,但这时基坑坡顶已产生较大变形,而施加预应力的目的是控制变形,一旦变形过大,施加预应力的目的就失去意义。比如周边若有供水管道、煤气管道,当变形过大时,管道会被拉裂发生漏水、漏气。漏气会引发火灾爆炸事故,漏水会使土体饱和自重

加大和土体抗剪强度指标降低,引起土压力增加,基坑安全系数降低,引发基坑失稳事故。

长沙某基坑工程,设计采用桩锚支护。在距基坑边2.0 m左右有一根平行于基坑边的城市供水管道,由于预应力施加不足,引起基坑顶发生变形,导致供水管道接口开裂,自来水渗入坡体,加大土体自重和降低了土体强度,最终导致自来水管接口开裂部位附近5根支护桩被剪断,基坑侧壁产生明显变形的影响范围达30 m。

2.4 自由段的处理

自由段的作用是通过预应力施加让自由段杆体(钢筋或钢绞线)产生弹性变形将拉力传至锚固段(稳定的岩土中)。对自由段的处理不规范表现在对自由段不进行失效处理,同时在自由段与锚固段交接部位不设止浆塞,变为了全粘结,造成无法将预应力及时传至稳定的岩土层。当施加预应力时,首先杆体产生变形段接近孔口,也就是该段能提供锚固力,土体与锚固体产生相对位移,而在破裂面以内锚固力对基坑最终稳定是不起任何作用,随着开挖深度的增加,提供锚固力的部位逐渐后移,变形逐渐加大,开挖至基坑底时提供有效锚固力的部位在破裂面以外。因此只有当杆体产生足够大变形的时候才能将力传递至稳定的岩土层中,这时基坑已经产生很大变形了,控制基坑变形所采用预应力锚杆、锚索就未达到设计目的。

2.5 泄水孔

设置泄水孔的目的是及时排除坡体积水防止坡体受到浸泡引起土体强度降低;减小水压力对支护结构的影响。

在设置泄水孔时,在重要部位加密处理。第一个重点部位是填土底部,一般填土的透水性是介于粘性土和砂卵石之间,而且很容易接受大气降水和地表水的补给,形成具有静止水压力的上层滞水。第二个重点部位是砂卵石层底部。在某些特殊情况甚至要加深泄水孔,将泄水端点设置在破裂面以外,减小渗透力对支护结构的影响。

渗透力 J 可按下式计算:

$$J = i \gamma_w$$

式中: i ——水力坡度; γ_w ——水的重度。

虽然渗透力远小于静止水压力,若将泄水点设在坡面上,渗透力同样作用在支护结构上。渗透力的分布范围为水位下降起始点至坡面泄水点,水力坡度自水位下降点至泄水点有逐渐增大的趋势,相应地单位体积上的渗透力也逐渐增大。若将泄水孔

加深至破裂面以外,则破裂面内既无静止水压力作用又无渗透力作用,因此将泄水孔加深对基坑的稳定是有利的。

3 基坑帷幕的思考

在基坑开挖深度范围,如遇到含水层时一般设计采用止水帷幕措施,其目的是防止基坑降水对周边产生地面沉降的影响,同时方便基坑施工。在某些情况是必须采取帷幕措施,如有流砂层分布、含水层较厚、水位降深大、基坑涌水量很大、周边对变形要求很高等。但长沙市某些基坑无流砂层分布、含水层较薄、基坑涌水量较小、周边对变形要求不严时采取帷幕措施则不尽合理。

长沙市有含水层分布的地段的地层一般为粉质粘土,俗称网纹土,地质时代 Q_1 、 Q_2 ,工程地质性质较好,属低压缩性土,其下为砂砾卵石层,密实,再往下为残积土层和岩层。含水层厚度一般在5 m左右,地下水类型为潜水,因此即使降水到含水层底板,水位降深 ≥ 5 m,为分析方便,含水层厚度按5 m计,含水层的 E 值一般在20~35 MPa。因此基坑开挖降水对开挖线地段产生的地面沉降值估算为:

$$S = \Delta p H / E = 25 \times 10^3 \times 5 \times 10^3 / (20 \times 10^6) = 6.25 \text{ mm}$$

根据降落漏斗的形状,距开挖线越远,降深越小,因此在距基坑一定距离的地段的地面沉降值小于该值。这样的沉降量对一般的建筑影响很小,同一建筑物内的沉降差更小。对于下伏的残积土,由于其为不透水层且砂砾层静水压力的消失,有效应力不增加反而降低,可不考虑残积土的压缩变形;对上部的粉质粘土,由于地下水为潜水,降水不会产生有效应力的变化;在此可仅考虑砂砾石层的变形。因此在含水层厚度较小、水位降深不大的情况下可以不考虑降水对周边环境的影响,即可以不设帷幕而采用明排措施。有时设帷幕对基坑反而有不利影响,表现在:

(1)增加基坑壁的水压力:按5 m水头计算静止水压力合力为(基坑每延米) $(1/2) \gamma H^2 = (1/2) \times 10 \times 5^2 = 125 \text{ kN}$ 。当然土压力计算值会减少,但土水压力之和较不采取帷幕措施是增大的(不考虑帷幕对土的改良),必须采取更为牢固的支护措施。

(2)给锚索(杆)带来施工不便:在静水压力作用下,锚索(杆)成孔一旦钻穿帷幕墙,地下水通过钻孔大量且集中涌入,造成无法注浆。

因此基坑是否需要采取帷幕措施,必须根据具体情况来确定,不要一遇到有含水层就设置帷幕。

4 含水层中锚杆锚索的注浆工艺

4.1 成孔注浆难点

在有含水层并设置帷幕止水措施的基坑施工锚索(杆)时,经常遇到锚索成孔一旦钻穿帷幕墙,地下水随钻孔大量涌出,成孔可以采用跟管钻进技术予以克服,但注浆问题难以解决,同时在成孔下入锚索(杆)拔出套管后出现垮孔现象,容易造成杆体与水泥砂浆无有效粘结。

4.2 成孔注浆方法

采用锚固钻机跟管钻进方法进行成孔,防止钻进过程中垮孔,该方法水泵泵量大,既能有效清除孔内钻渣,又能防止砂卵石层垮孔。成孔到位后进行清孔,在套管内下入锚索及注浆管,拔出套管,在孔口安装泄水管并采用水泥砂浆进行孔口固结。泄水孔大小及数量依据地下水水量的大小确定,确保孔口固结能够顺利完成。注浆管及泄水管(兼作回浆管)均安装阀门,回浆管同时安装压力表控制回浆压力。孔口固结强度应符合采用压力循环方法注浆工艺要求,为提高砂浆早期强度,可适当添加早强剂。

其工艺流程:跟管钻进成孔→清孔→下入锚索及注浆管→拔出套管→孔口固结及预埋泄水管→压力循环注浆→封闭泄水管及注浆管。

这个工艺流程的关键工艺是压力循环注浆工艺。压力循环注浆是在返浆孔口保持一定的注浆压力,让水泥浆通过注浆管、泄水管(回浆管)在孔内与储浆桶之间循环。注浆压力通过控制回浆管阀门来调节。压力循环注浆工艺见图1。

回浆管压力大于静止水压力0.1~0.2 MPa,压力过大时浆液流失较多,压力过小,水泥浆被地下水冲洗。循环注浆的目的是当孔内出现垮孔被砂石充填时,通过循环,水泥浆逐步渗透到孔内的砂石之间固结砂石并与杆体固结,防止垮孔后砂石将杆体隔离造成水泥浆与杆体之间无粘结。

4.3 实例

某基坑工程设计采用桩锚支护,支护桩之间设高压旋喷桩止水,基坑设计4排锚索。一、二、三排锚索开孔位高于地下水位或稀泥浆能压住地下水,均能正常施工。当施工第四排锚索时,由于该排锚索处在砾石层中,成孔钻穿帷幕后地下水大量涌入,伴随垮孔。因为采用跟管钻进技术,垮孔对成孔影响不大,能按设计深度进行成孔。但采用充填式方法无法注浆,注浆多少被地下水冲洗出多少,孔内没有任何浆液。采用压力循环注浆工艺较好地解决了此难题。

该处静止水压力26~30 kPa,开始注浆时,全部

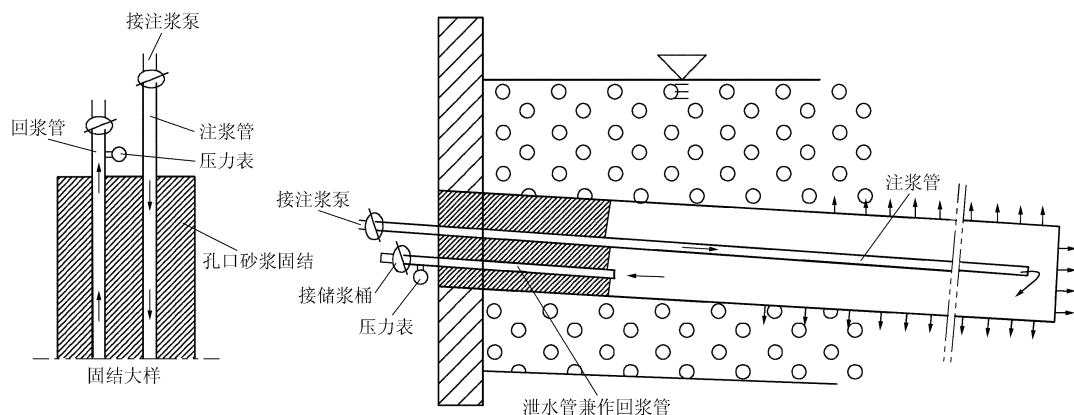


图1 压力循环注浆示意图

打开返浆管阀门,待返浆管返出水泥浆时调节阀门,保持返浆管压力在 0.15 ~ 0.2 MPa,水泥浆在注浆泵、孔内、储浆桶之间循环,循环注浆时间一般在 15 ~ 20 min,从返浆管返出的水泥浆前期的不予利用,后期的浆液可重复利用(注意浆液浓度的变化),循环注浆完成后关闭注浆管和返浆管的阀门,水泥浆凝固后拆卸阀门重复利用。经拉拔试验,3 根基本试验锚索极限抗拔力为 603、536、536 kN,拔伸量分别为 20.15、16.15、15.01 mm,满足设计要求。

5 结语

基坑施工时,对锚杆锚索土钉的长度、支护桩桩长、喷射混凝土厚度、钢筋网片的连接等方面一般能够有效进行有效控制和检测,因此对锚杆锚索泥浆浓度的控制、注浆的及时性、预应力的准确施加、自由段的处理、泄水孔的设置显得尤为重要,必须严格按照要

求施工,方可有效保证基坑安全。基坑帷幕应根据周边的情况及地质条件进行设置,确保合理、经济。

对于压力循环注浆工艺,锚索的拉拔试验虽然取得成功,但其渗透固结孔内砂石及杆体程度有待于进一步验证。

参考文献:

- [1] 常士骝,张苏民. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [2] 程良奎,李象范. 岩土锚固. 土钉. 喷射混凝土——原理、设计与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] 肖奇辉,陈亮晶. 压力循环注浆方法和工艺探讨[A]. 2011年湖南科技论坛国土资源分论坛论文集(下)[C]. 湖南长沙:湖南地图出版社,2011.
- [5] 秦俊生,王成彪,程剑. 北京地区某基坑边坡支护变形分析及建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):36-40.
- [6] 江建红,崔江余. 海口某基坑边坡垮塌事故分析及处理措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):45-48.

(上接第33页)

(5)采用绳索取心钻进,每次投放内管时须认真检查卡簧、卡簧座以及双管单动机构,发现问题及时排除,以防提拉不动内管而增加提钻次数,并尽量减少提下钻次数,从而更能有效抑制孔壁岩石露出、探头,更好地发挥金刚石绳索取心钻进的优越性。

(6)正常钻进过程中,要尽量减少提下钻次数,更换钻头或扩孔器时,必须要轻提、慢灌的原则;同时要经常检查取心器的易损件,避免刚下完钻就提钻的责任事故的发生。

9 结语

腐植酸钾低固相泥浆钻进石英片岩及花岗岩破碎带(高龄土化)较合适,尤其是沉积变质岩类地层使用效果较好,有利于抑制断层泥缩径、膨胀。腐植

酸钾(粉剂)易溶于水,现场配制比较方便。实践证明,腐植酸钾低固相泥浆护壁是查干德尔斯钼矿复杂地层以及类似地层的有效技术措施。

参考文献:

- [1] 郑思光,赵志杰,王克佳,等. 司家营(南)区大贾庄铁矿复杂地层深孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7).
- [2] 孙丙伦,陈师逊,陶士先. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨和实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5).
- [3] 宋希雄. 钻孔漏失原因及防漏方法[J]. 探矿工程,1985,(3).
- [4] 柯玉军. 严重漏失破碎地层钻孔综合施工方法及效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10).
- [5] 曾石友. 嵩县多金属矿区复杂地层岩石心钻施工综合技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11).
- [6] 皮跃进,刘文华. 安溪黄厝坪铁矿复杂地层钻孔护壁堵漏实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9).