

在非腐蚀地层中全长粘结预应力锚索 可用作永久支护

刘玉堂

(总参工程兵科研三所 洛阳 471023)

摘 要: 全长粘结预应力锚索在我国应用最早, 应用范围最广, 针对全长粘结锚索不能作为永久支护的观点, 详细论述了全长粘结锚索的防护原理, 并用大量的事实证明全长粘结锚索在无腐蚀地层中完全可以用作永久支护。全长粘结锚索具有造价低、结构简单、施工速度快、能最大限度的调动岩体的自承能力、与无粘结锚索相比承载力更大、长期使用中外锚头无须特殊保护等优点, 在无锈蚀地层中应当优先选用, 但是, 要注意遵循使用条件。

关键词: 全长粘结锚索 锚索 岩土加固

1 全长粘结预应力锚索的结构与施工

受力筋采用表面无任何涂层的光面钢绞线或钢丝, 锚固段有两种组装形式, 一为“枣核形”, 另一种为“直列形”, 即整根钢绞线无弯曲。实践证明, 枣核形锚固段受力更合理, 同样长度的锚固段锚固力更大, 目前工程中应用较普遍。施工时先对锚固段注浆, 张拉后再对张拉段注浆, 因此也称为二次注浆预应力锚索。由于张拉锚索时锚固段的注浆体受拉剪作用, 归类于拉力型锚索。注浆体既是把锚索体与岩体粘结为一体的中间介质, 提供足够的锚固力, 又是锚索的永久防护组成, 因此, 注浆体的饱满度和连续性是保证全长粘结锚索有效预应力和永久性的重要措施。

2 为全长粘结预应力锚索正名

全长粘结预应力锚索在我国应用最早, 岩土加固工程中应用数量最多, 应用范围最广, 许多国家重点工程, 如云南漫湾水电站、黄河李家峡水电站、长江三峡水电站等都选用全长粘结锚索用于永久支护。不知道从什么时候开始, 在岩土工程界的部分专家中产生了一种误解, 认为全长粘结锚索没有防护, 只能用于服务年限不长的临时支护, 甚至2005年颁布执行的锚索规程^[6]也认定它只能用于服务年限不大于2年的临时性工程, 永久性锚索只能采用隔离防护。

这种观点是缺乏对钢材防护原理的全面认

识, 钢材的防护手段有很多种。隔离防护是采用化学性质稳定的材料把钢材与外界完全隔离, 它只是钢铁防护的一种, 除此之外还有阴极防护、阳极防护以及钝化膜防护等, 全长粘结预应力锚索的防护就是利用钝化膜防护, 其原理在下节论述。

只能作为临时支护的观点也不符合几十年来锚索的应用实践, 我国应用最早的全长粘结锚索是1965年用于加固梅山水库的坝肩, 已安全服务40多年; 从1973年开始, 国防、人防、水电等系统采用全长粘结锚索加固了大量的永久性工程, 较长的服务年限是某地下飞机库断裂被覆的加固, 也有30多年, 这些工程至今都在安全工作。

上世纪80年代在河南鹤壁煤矿的一个巷道内钻取了3根60年代施工的砂浆锚杆, 在室内小心的剥去水泥浆后发现, 虽然在环境恶劣的煤矿内已工作20多年, 仍然没有发现钢筋上有任何锈蚀, 有的地方虽然仅有不足1米厚的水泥浆包裹, 却仍然保持着新鲜的金属光泽。

国际预应力协会曾对全世界的锚索工程进行了调查^[5], 在35个锚索工程中发现100多根锚索在不同的部位产生了破坏, 仅有两个工程中的几根属于全长粘结锚索, 是因为灌浆不饱满, 受力筋在锚具下锈蚀。我国40多年来用全长粘结锚索加固了无数个岩土工程和结构, 也从未见到全长粘

结锚索破坏的报导,相反,有几个锚索破坏的例子也是属于无粘结锚索。

由此可见,认为全长粘结锚索没有防护只能做临时支护的观点毫无实践依据。

搞基建需要对一些早年修建的钢筋混凝土结构拆除,这给我们考察钢筋在混凝土中的锈蚀提供了机会。在工人们剥离出的钢筋中,有的一点也没有锈蚀,这说明混凝土确实能保护钢筋不锈蚀;有的钢筋已产生严重的锈蚀,这说明不是所有的混凝土都能对钢筋起保护作用,混凝土保护钢筋不锈蚀是有条件的。

3 锚索的锈蚀与防护原理

在无腐蚀地层中锚索遭到的唯一危害是锈蚀,锈蚀就是通常说的生锈或氧化,仅发生在钢铁的表面,属于电化学腐蚀的一种。铁是多价元素,依氧化条件的不同可生成三种氧化物:FeO(魏氏体)、Fe₃O₄(磁铁矿)和Fe₂O₃(赤铁矿)。氧化铁和其它氧化物一样,导电率都比金属低,化学性质相对稳定,如果氧化铁是均匀而连续的,氧化铁对钢铁还是有一定保护作用的。然而,一般情况下钢铁表面的氧化速度是不均匀的,形成的氧化铁的厚度有厚有薄,氧化铁内部会产生自应力,有压应力,也有拉应力,压应力过大可使氧化铁与母材剥离而鼓起,拉应力过大又会使氧化铁断裂,裸露的钢铁将继续氧化。

研究指出^[1],钢铁在PH≥11的碱性环境中,钢铁氧化后将在钢铁表面形成均匀而连续的Fe₂O₃薄膜,它的厚度大约是100纳米,结晶形式是r-Fe₂O₃,属于尖晶石结构,就是我们常说的钝化膜,只要钝化膜不被破坏,钢铁就不会锈蚀。这就是为什么很多钢筋砼中的钢筋几十年后仍保持新鲜的金属光泽而不锈蚀的道理。其实,只要满足一定条件,很多金属都可以在表面形成钝化膜而不锈蚀。例如,铝是一种多见而且比较活泼的多价金属,但是,生活中常见的纯铝或合金铝用品非常耐用,就是因为Al₂O₃钝化膜的保护作用。“不锈钢不会生锈”的说法也不够严格。当钢中加入的铬不小于12%时,不锈钢的表面可以形成

Cr₂O₃钝化膜,是钝化膜保护了钢材不锈蚀。这种钝化膜与r-Fe₂O₃钝化膜不同,r-Fe₂O₃钝化膜破坏后钢铁就失去了保护,仍然会生锈;而Cr₂O₃钝化膜有“自愈性”,一旦不锈钢受到机械擦伤,甚至机加工削去了Cr₂O₃,不锈钢会立即在表面生成新的钝化膜。

锚索的防锈蚀完全可以利用钝化膜,但是必须满足两个条件,第一,锚索所处环境必须能生成钝化膜。用硅酸盐水泥拌制的砼和浆液PH≥11,恰巧满足r-Fe₂O₃的生成条件;第二,保护钝化膜长期不被破坏。研究指出,氯离子和硫酸根离子能浸入钝化膜,依据环境的不同,一个氯离子或一个硫酸根离子可以引起15~40个锈分子的形成,造成晶格缺陷,这些缺陷逐步扩大连成一片,使钢材失去钝化膜并形成锈斑。因此,锚索规范都限定了锚索工程采用的一切建筑材料中氯离子和硫酸根离子的含量。前面提到的鹤壁煤矿的锚杆及旧混凝土中没有锈蚀的钢筋,就是因为满足了这两个条件;混凝土中锈蚀的钢筋,或者是混凝土的碱度不够,例如用火山灰水泥或硫铝酸盐水泥拌制的混凝土,或者是后期有害成分侵入,破坏了已形成的钝化膜。

4 全长粘结预应力锚索的优点

4.1 能最大限度的调动岩体的自承能力

粗看起来注浆体只能把锚索周围的岩块粘起来,然而岩块之间还有一种互相咬合的镶嵌作用,著名的“冠石理论”就是以此为基础。互相咬合的岩块以与其粘结为一体的锚索体作坚强的支撑,共同形成有一定支护作用的“结构”,把岩体的自支承能力充分调动起来,与锚索一起共同抵抗岩体的变形。

4.2 全长粘结锚索有受力的局部性

无论什么原因若造成锚索某处断裂,由于锚索与围岩被注浆粘结为一体,锚索对围岩的加固作用仅影响断裂面附近的有限距离,岩体强度越大,影响距离越小,其余的锚索仍正常工作,并不受锚索断裂的影响。正是这种特性使全长粘结锚索具有外锚具无须特殊保护的优点,外锚具一旦遭到破坏,锚索对岩体深层滑动面的加固作用

并无大碍。实际上,工业与民用建筑中许多先张法预应力钢筋砼根本就不用外锚具,例如预应力砼屋面板及其它先张法预应力砼构件等。

4.3 全长粘结锚索极限承载力高

有研究指出^[8],用粘结筋加固的结构的极限承载力比用无粘结筋加固的同种结构高15%以上,这是一个不容忽视的数据。这项研究成果同样可以推论到全长粘结锚索和无粘结锚索。

此外,还可以列出全长粘结预应力锚索许多优点,比如:结构简单、造价低、绝大多数技术人员熟悉施工工艺、施工速度快等。

5 全长粘结锚索的缺点

5.1 长期使用中不能调整锚索的拉力

锚索张拉锚固后,张拉段注浆前,张拉段的锚索体仍处于自由状态,锚索的拉力还是可调的,由于没有任何防护,无特殊要求应尽快回填灌浆。有时设计要求调整锚索预应力的时间较长,如群锚效应及岩体变形等,应对张拉段采取临时防护。一旦回填灌浆结束,锚索体、注浆体及围岩将结合为一体,锚索体的伸缩受围岩的制约,不仅锚索的预应力无法调整,锚索应力的自调能力也很差。

5.2 张拉时锚固段注浆体易开裂

水泥浆与钢材的变形特性极不匹配,张拉锚索时锚固段注浆体的自由面及其附近将被拉裂,特别是锚索设计拉力较大时。张拉段回填灌浆的浆液也不可能渗入所有裂缝,这将对锚索的永久性构成威胁。为了保证锚索的永久性,可采用分次注浆分次张拉锚固的施工工艺,每级张拉力取锚固段注浆体不开裂的最大值,每段注浆体上的剪应力都是从零开始,而锚索的拉力却是逐级增加的,如图1所示。随着水泥外加剂的迅速发展,在浆体中添加超早强外加剂1~2天即可达到设计强度,因采用分次注浆分次张拉锚固工艺对施工进度的影响已很小。我国已有不少工程采用了这种施工工艺,如云南漫湾水电站、河北潘家口水库、石家庄黄壁庄水库等。

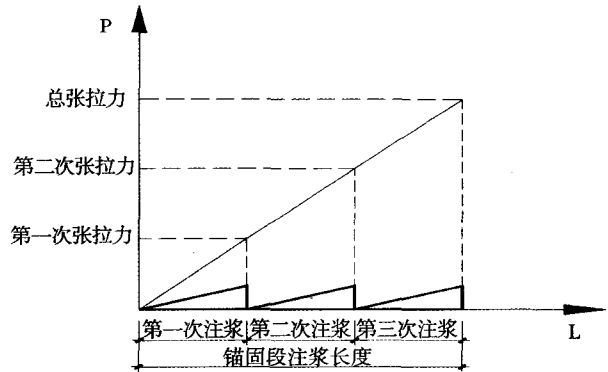


图1 锚固段注浆体应力分布图

6 全长粘结锚索用于永久支护时应注意的问题

6.1 只有在无腐蚀性地层中才能作为永久性支护

所谓无腐蚀性地层就是 $\text{PH} > 6$ 、岩体中无腐蚀性化学成分的地层。其实,除了某些矿山、近海地区、附近有化工厂和污水处理厂的地区之外,绝大部分地层都属于无腐蚀性地层,特别是山区公路、高速公路、水电站及其它一些大型建设项目,一般都远离城市,绝大多数都属于无腐蚀地层。

6.2 营造锚索表面能形成钝化膜的环境

硅酸盐水泥拌制的水泥浆或水泥砂浆 $\text{PH} \geq 11$,与钢绞线接触能生成钝化膜,因此,锚索工程中锚孔注浆、垫墩的浇筑及锚头的封堵应全部采用硅酸盐水泥。为了改善浆体的性质,施工中常掺加一些外加剂,如早强剂、减水剂、助流剂、膨胀剂、抗冻剂等,这些外加剂以及拌合水都不得降低浆体的碱度,也不得含有妨碍钝化膜形成的有害成份。

6.3 长期使用中不得破坏已形成的钝化膜

很多化学物质都能破坏已形成的钝化膜,如地下水中的酸性物质能降低浆体的碱度而碳化,锚索表面的钝化膜会逐渐消失而失去保护。有些化学物质还会直接破坏钝化膜,当工程环境有重大变化,如锚索工程附近建化工厂、污水处理厂、发电厂时,应注意岩体成分的变化,如有有害物质的侵入,应及时采取相应的补救措施。

7 结束语

锚索的永久性只能是一个相对概念,不能理解为永远不坏。按哲学观点,任何事物都有一个产生、发展和消亡的过程,不可能存在永远不坏的东西。作为岩土加固手段的锚索,没有理由要求它永远不坏,要求了也做不到,何况任何建筑物也都存在有效使用年限的限制。究竟锚索的有效使用期多少年才是永久性锚索,我们既不同意永远不坏,也不同意某锚索规程^[6]简单地以两年为界“设计使用期超过24个月的就是永久性锚索”的观点。我们认为,只要锚索与用其加固的结构物同龄就是永久性锚索。全长粘结锚索虽然在我国应用历史最长,毕竟只有不足50年的应用实践,应该说仍然是一项年轻的技术,对它的认识还在不断深化,只能根据我们目前的认识水

平,把锚索可能遭到的危害加以防范,尽量做到在它的有效服务期内不坏。

参考文献

- [1] J·C库斯里. 腐蚀原理[M]. 李启中译. 第二版. 北京: 水利电力出版社, 1984
- [2] 梁炯鉴. 锚固与注浆技术手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999 68-71
- [3] A·A·斯塔谢尔斯基. 钢筋砼的电腐蚀[M]. 北京: 冶金建筑研究总院情报室, 1983
- [4] N·N瓦西连科. 钢的应力腐蚀开裂[M]. 陈石卿译. 北京: 国防工业出版社, 1983
- [5] 高大水. 岩土预应力锚索腐蚀与防腐[J]. 岩土锚固工程, 2003 (1)
- [6] 中冶集团建筑研究总院. 岩土锚杆(索)技术规程[M]. 北京: 中国计划出版社, 2005
- [7] 刘玉堂, 翟金明. 常用预应力锚索的结构和特点[J]. 防护工程, 2005, 27 (3): 47-57
- [8] 章建庆. 缓粘结预应力筋的研制和应用[J]. 海威姆预应力技术, 2003 (1)

(上接第33页)

4.2 监测结果

张拉过程中及张拉完成后对监测点都进行了监测,张拉结束后,实测结果如图8所示。由图8可以看出,实测钢结构应力值比理论计算值小,竖向变形实测值比理论计算值略小,水平变形实测值比理论计算值稍大,钢结构应力和整体结构变形满足相关规范的要求。

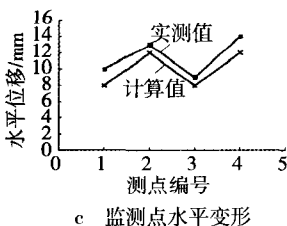
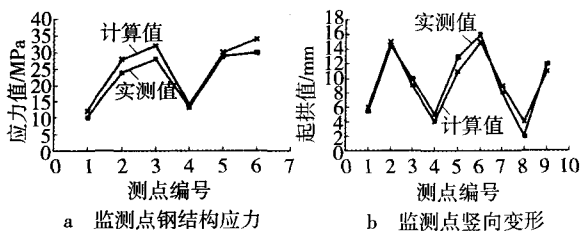


图8 张拉完成后监测结果

5 结语

1) 2008年奥运会乒乓球馆钢结构屋面为预应力钢结构体系,结构新颖、形式复杂。预应力拉索设置合理,能够有效增加结构的刚度、降低结构竖向变形。

2) 根据结构形式和张拉力大小制定合理的放索、张拉等施工方案。

3) 对制定的施工方案进行施工仿真模拟计算十分必要,同时应根据计算结果布置相应的应力和变形监测点。

4) 施工时应将施工模拟计算和施工过程紧密联系在一起,随时监控应力和变形,确保理论和实际相符。

参考文献

- [1] 黄明鑫. 大型张弦梁结构的设计与施工[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2005.
- [2] 陈广峰, 李继雄. 北京农展馆张弦梁施工技术[J]. 施工技术, 2005, 34 (7): 729.
- [3] 吕晶, 徐国彬. 鞍山体育中心劲柔索张拉穹顶屋盖设计与施工. [A]/第十届空间结构学术会议论文集[C]. 北京: 中国建材工业出版社, 2002, 759-763.
- [4] 陆赐麟, 尹思明, 刘锡良. 现代预应力钢结构[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.