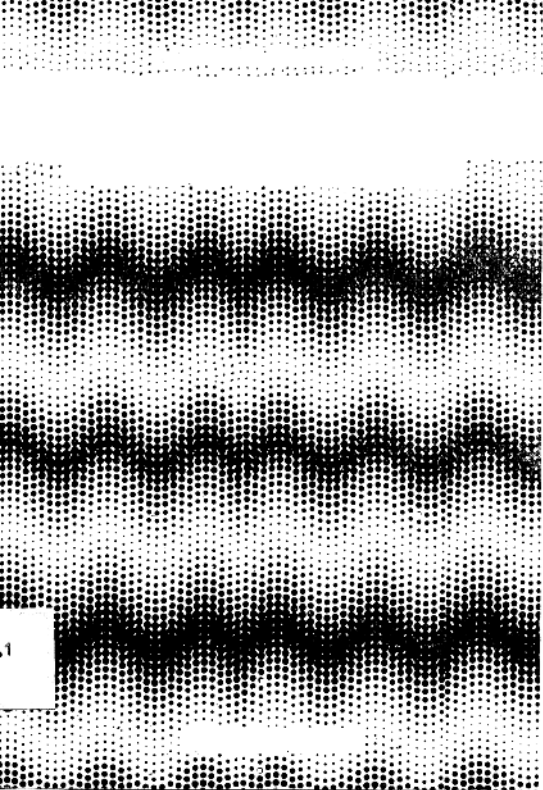




向是必要的。

近30年来在定期刊物中发表了3000多篇有关饮水加氟各方面的论文。在考虑本专著的内容时，著者们不可能引用文献目录中的全部著作。所以，只能着重指出近十年来发表的文献论点。至于更早期的著作请读者查阅本专著的文献目录。

绪 论

目前，龋齿是人类一种最常见的疾病，各种年龄的人均可患龋齿。有大量的资料表明，经济发达国家居民的龋患率达95~98%。世界各地的龋患率也有向这种水平发展的趋势。根据世界卫生组织的资料，发展中国家，特别是人口集中的都市居民中的龋患率正在急剧地上升。

龋患的最大特点是龋变过程一经开始如不治疗就不能中止。人所共知，龋齿在一定程度上可导致髓腔和牙周组织的病变，能成为颌面和颈部化脓性炎症的病因。龋齿是牙齿损失的最常见原因，它破坏咀嚼功能造成消化不良，并能引起慢性胃病。龋齿同扁桃腺疾病一样，都是机体内感染和中毒的潜在性病灶。

龋齿率的上升，龋齿程度的加重，都大大增加了所有国家口腔医疗机构的负担，有些地区口腔治疗的工作量甚至超过了当地口腔专业人力、物力所能承担的水平。

根据美军的统计资料，在100名应征的青年中，有600个牙齿需要充填，112个牙齿需要拔除，40个牙齿需要局部修复（造形），21个牙齿需装冠，20个牙齿需换假牙。根据世界卫生组织的资料，目前全世界口腔医疗部门无力保证数十亿人的龋齿损害及其后果的医疗。甚至在经济最发达的国家

里，口腔医疗机构的工作量也扩大了3~8倍。越来越明显的是龋齿的防治工作应以预防为主。

鉴于上述情况，世界卫生组织已将龋齿列为现代医学科学和保健机构高度重视并加以预防的六种疾病之一。饮水加氟已被公认为是一种切实可行的有效的群众性预防龋齿措施，有人认为它是二十世纪预防医学所取得的最大成果。关于普遍推广饮水加氟的问题已经作为世界卫生组织第22次全体会议的特别项目而列入了大会议程，并得到与会者中压倒多数的赞同。

所谓饮水加氟，就是在供水水源中有控制地添加氟化物，使其中氟离子达到足以有效预防龋齿的浓度，同时又不致于影响人体的各种生理机能、正常发育和身体健康。事实上，饮水加氟已成为调节饮水中矿物成分，使之达到有利于健康的适宜水平的第一个范例。

第一次饮水加氟是在1945年开始实行的，从那时起经过了30多年，现已在35个国家内得到较大范围的推广，在这些国家里已有一亿五千万以上的居民饮用加氟水，经多年的观察证实，饮水加氟能确保降低龋患率2~3倍。如果与其他预防措施联合使用（如合理的营养、限制食物中容易发酵的有机成分碳水化合物含量、合理的口腔保护、适时的口腔卫生处理），则加氟水可降低龋患率5~10倍。在饮水加氟的城市所做的调查表明，学生中牙齿卫生处理的开支降低了2倍。在苏联进行的计算确定，加氟水能降低牙齿的治疗率和拔牙率40%，降低镶复率25~30%。

既然上述事实客观存在，那么为什么许多国家仍置龋齿预防的迫切性和饮水加氟的高效性于不顾，而对饮水加氟推

行不力，甚至加以限制或禁止呢？其原因是多方面的。

担心氟元素会给健康带来不利影响的恐惧心理是饮水加氟的主要障碍之一。反对饮水加氟的人指出，饮水中最适防龋的氟离子浓度（0.7~1毫克/升）已接近其毒性作用的阈值（1.5毫克/升）。人们注意到，饮水消耗量（每公斤体重一昼夜的消耗量）显著地受年龄、季节、膳食特点、职业（如在高温车间工作）、人体的生理状态以及其他一些条件的影响，进入机体的氟化物量也会因此而表现出明显的波动。

文献中曾经报道，儿童、老年人、病人（神经病、糖尿病、高血压病、动脉硬化等疾病）对氟元素的敏感性较高，遗传性也可能影响某些人对氟的敏感性。许多饮水加氟的反对者还提出，氟对机体的作用同其他某些物质一样，不仅表现出毒性作用，而且还可能引起变态反应，并具有致畸、致突变和致癌的作用，或者也可能具有促性腺激素样和胚胎毒样作用。这些看法都是根据个别报道和一些未经证实的假说提出的。他们认为，上述作用即使在氟浓度低于毒性阈值的情况下也会产生。还有人指出，氟元素作为酶抑制剂可阻止细胞内的合成过程，导致机体自身免疫力降低，并可加速生理上的老化过程。

既然氟是多种酶的抑制剂，许多学者认为任何剂量的氟都是有毒的。还有人提出一种离奇的观点，实际上与上述类似，即认为氟剂量减少反而增大其毒性。有人提出这样的问题，饮用加氟水的人同时也受大气氟污染的影响，这时进入机体的氟浓度可接近耐受量的极限值（由于络合、化合或复合作用）。

饮水加氟的反对者很少能为他们怀疑氟抗龋作用的观点

提出论据，但有一些反对者断言说，氟的抗龋作用是被夸大了的，不仅如此，它还能引起牙龈炎、牙周病和使其他口腔疾病的发病率增高。某些学者否定氟具有抗乳牙龋的作用。另外一些人为自己的观点提出论据，营养质量和口腔卫生比摄氟对龋患率的影响更大。许多学者认为，其他微量元素（如钼、钒等）的抗龋作用不比氟小，也可以合理地应用于防龋。

某些卫生工程技术人员根据技术和经济的理由反对饮水加氟。他们指出，加氟自来水的利用率低至1%就可满足人类生理上的要求。所以说水中加氟是一种浪费，主要是用于购买氟试剂的开支过大，这对于目前仍很贫困的一些国家来说更是如此。据此，他们支持使用其他种类的含氟抗龋制剂，如含氟药片、加氟食盐、牛奶、食糖、面包、可局部使用的含氟药水、牙膏和牙涂料等。在国外，曾有人从政治的、伦理的或宗教的角度提出过反对饮水加氟的意见。他们强调采用药片或其他含氟抗龋剂，认为这样就可以按照个人的意愿解决增加氟摄入的问题。

没有大量可靠的自动定量加氟装置（适用各种自来水厂）可供使用，认为加氟水会腐蚀自来水管网管道，担心管理加氟设备人员健康受到损害等，也都是反对加氟者的根据。有人怀疑加氟水是否适用于人造冰、烘烤面包以及制造一系列调味品？是否适合一系列生产技术环节？目前，反对饮水加氟的意见还来自环保部门的专业人员。由于受到西方无控制加氟对外环境污染所造成的有害后果的影响，他们把饮水加氟看作是环境污染的附加来源。有人提出这样的意见，即下水道中大量集中这种废水时，必定会导致淡水中氟浓度的增

高，这样的水流入海洋后必将严重影响水生物的生存。

不可忽视的是，由于科学技术的发展，工业化、城市化和水质污染不断增长的危险性，以及工业废水对地下水的污染等，解决安全供水在许多地区将是一个十分复杂的问题，所以市政部门非常注意保证居民足够量的优质饮水（在流行病学和毒物学方面），并且认为，水中加氟是多此一举。根据我们的了解，上述情形是许多地方对饮水加氟持消极态度的主要原因。而且龋患率的真正降低并不在饮水加氟后立即实现，而是同其它饮水改善工作一样，需要经过若干年后方能显出效果。另外，有些城市尽管为饮水加氟消耗了大量财力、物力，但没进行居民龋患率动态的研究，公共饮水负责人根本不了解多年来加氟的效果，这些情况也在很大程度上影响工程技术人员对饮水加氟的积极性。

苏共中央的纲领和苏联宪法对预防疾病、增进人民健康和实行群众性预防措施给予了极大的关注。因此在苏联把预防龋齿看作是卫生部门的一项重要任务。在苏联对公共饮用的自来水已广泛地实行了饮水加氟。经验证明，实行饮水加氟的正确方针是必须从公共卫生的、技术的和经济的观点出发，熟练合理地实现这一措施方能奏效。

经过30多年对氟和饮水加氟卫生学知识的研究，使我们在查阅资料时有可能进行批判性的接受。文献中不仅有一般的报道而且还有自己的实验资料和流行病学调查材料。当然，饮水加氟的许多科学和实际问题尚未彻底解决。由于我们对外环境正常因子及其调节作用的卫生学基础问题相应的研究还不充分，所以不少问题目前尚难以解决。因此，著者们认为，在本书中指出饮水加氟方面最迫切的远期的研究方

目 录

绪论.....	1
第一章 生物圈中氟及人类机体的氟摄入.....	1
I.1. 氟的性质.....	1
I.2. 生物圈中氟循环.....	2
I.3. 水氟含量.....	4
I.4. 食品氟含量.....	9
I.5. 随水和食物进入人体的氟.....	15
第二章 人体氟及其代谢.....	25
II.1. 消化道内的氟吸收.....	25
II.2. 血氟含量.....	27
II.3. 软组织氟含量.....	28
II.4. 骨氟含量.....	28
II.5. 牙氟含量.....	32
II.6. 机体的氟排出.....	35
II.7. 母乳氟含量.....	37
II.8. 母亲与胎儿间的氟交换.....	38
II.9. 机体氟平衡及其代谢略图.....	39
第三章 微量元素氟的生理作用.....	43
III.1. 氟对机体硬组织的生理作用.....	44
III.2. 氟对其他机体组织及某些生理功能的作用.....	47
第四章 氟的抗龋作用.....	49

IV.1. 氟抗龋作用的机制·····	49
IV.2. 天然水氟的抗龋作用·····	51
IV.3. 加氟水的抗龋作用·····	63
IV.4. 其他氟预防法·····	70
第五章 地方性氟中毒及饮水加氟的安全性问题·····	75
V.1. 氟中毒的发病机理·····	76
V.2. 牙氟中毒·····	82
V.3. 氟骨症·····	94
V.4. 饮水氟对内部器官及全身健康状况的作用·····	101
V.5. 饮水氟含量的卫生学标准·····	116
第六章 国外饮水加氟情况及争论问题·····	120
第七章 苏联的饮水加氟·····	135
VII.1. 最适氟浓度的选择及饮水加氟原则·····	133
VII.2. 饮水加氟的标志·····	140
VII.3. 对含氟试剂的评价·····	142
VII.4. 含氟试剂向水中引入的位置·····	145
VII.5. 加氟装置的卫生学特点·····	146
VII.6. 饮水加氟的国家卫生监督·····	155
VII.7. 饮水加氟抗龋效果的研究·····	159
VII.8. 饮水降氟的卫生监督·····	163
VII.9. 饮水加氟卫生学问题的远期科学研究·····	164

第一章 生物圈中氟及人类 机体的氟摄入

I.1. 氟的性质

氟原子的结构及其化学性质决定了氟的生物学特性及其在生物圈中的迁移状况。氟属于第七族的卤族元素；它的同位素 ^{18}F 较为稳定；它在所有的化合物中几乎都呈负1价；氟原子很小，因此它能牢固地与其他原子结合成各种化合物。

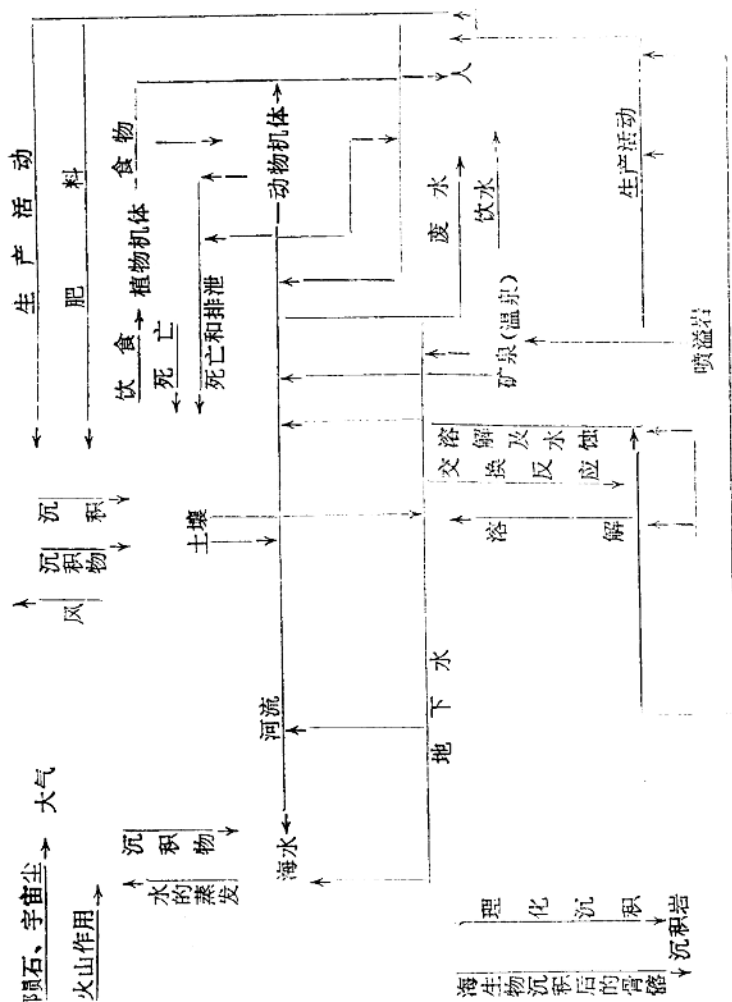
氟原子有两个电子层：内层（K层）有2个电子；外层（L层）有7个电子。它具有主动获取电子的能力，从而使其外层具有达到8个电子稳定状态的强烈趋势。它对电子有强大的亲和力和很高的离子化电位，是多种价电子的受体，是电负性最强的元素。因此，氟被认为是一种化学反应能力很强的“类金属元素”。由于氟元素（或氟离子）具有较强的反应能力，致使其生物学活性较强，它的许多化合物的稳定性也很大。据此，可将氟元素看作是一种具有奇异特性的元素：有最强的电负性和反应能力，具有“攻击性”、“破坏性”和“不可攻破性”，可发生“突然性”反应。自然状态下几乎没有游离态的氟存在。为便于叙述，常将氟化物或氟离子作为氟的代用词。在文献中，许多作者象对待碘一样，经常简单

地用“氟”来代替多种状态（离子态的，可离子化的和不可离子化的）的氟。

I.2. 生物圈中氟循环

生物圈中氟的基本来源是活火山喷出岩，现已发现有100种以上的含氟矿物。其中最有意义的有氟磷灰石($3\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_2\text{CaF}_2$ ，含氟4.2%)、萤石(CaF_2 ，含氟48.7%)、冰晶石($3\text{NaFAI}\text{F}_3$ ，含氟54.3%)以及各种含磷灰石基团的磷钙石，这些磷钙石在化学上以不同比例与磷酸钙结合($3\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_2\text{CaF}_2 + n\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_2$ ，含氟0.1~6%)。火山气(含HF2.5%)和地层深处的热水也是氟的来源(普通含氟10~25毫克/升，少数为6克/升)。含氟物质常存在于山上的岩石和土壤中，呈散在的形式，也有以矿物形式存在的。地球化学和地球生物化学的过程以及人类的生产、生活活动是氟在生物圈内迁移的主要条件。氟到处都有，它不仅存在于矿石(普通含氟300~800毫克/公斤，平均为200毫克/公斤)和土壤中(普通含氟30~320毫克/公斤，平均为200毫克/公斤)，同时还存在于淡水中(大部分为0.01~0.8毫克/升，少数为0.8~20毫克/升和以上)、海水中(0.7~1.4毫克/升)、大气中(2.10^{-6} ~ 4.10^{-4} 毫克/米³)和植物组织(大部分为0.05~3毫克/公斤)、动物机体(软组织为0.05~3毫克/公斤，硬组织为100~800毫克/公斤和以上)中。图 I—1 表示氟在生物圈中循环情况。

图 I-1 氮在生物圈中循环情况



I.3.水氟含量

氟从矿石向水中迁移取决于矿石的多孔性、氟含量及其可溶性,也取决于水的理化性质。各种氟化物的溶解度(18℃时)很不一致: CaF_2 为16毫克/升, MgF_2 为760, SrF_2 为117, BaF_2 为1590, AlF_3 为1614, Na_2SiF_6 为5700, 冰晶石为391, NaF 为40540, 磷钙石为400~1000, 氟磷灰石为200~500毫克/升。根据这种情况,即使溶解度最低的 CaF_2 也能使水中的氟浓度达到8毫克/升。多数普通含钙天然水中所含的氟就是这样形成的。天然水中还可含更高量的氟常常是因为水中存在大量的钠(由易溶解的 NaF 形成)。此外,水中硫酸盐及碳水化合物含量的增大, pH值和温度的升高也能提高氟的溶解度。

氟究竟以何种形式存在于水中呢? 水中的氟化钙按下列方式解离: (1) $\text{CaF}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2\text{F}^-$; (2) $\text{F}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HF}$; (3) $\text{HF} + \text{F}^- \rightleftharpoons \text{HF}_2^-$ 。因此水中可同时存在 F^- 、 HF 及 HF_2^- 。在中性环境和碱性环境以及稀释的溶液中,氟几乎全部以氟离子(F^-)的形式存在;在酸性条件下, F^- 含量减少, HF_2^- 的含量增加,而 HF 不被解离。从化学角度上,某些人把“天然”水氟和“人工添加”水氟的生理作用对立起来是没有意义的。这种情况已为许多实验和自然观察所证实。

对世界上几乎所有国家的调查结果和数以千计的文献进行综述说明饮水水源的氟含量变化于0.01至20~100(肯尼亚)毫克/升之间,其中大多数水源的氟含量在0.5毫克/升以

内。根据美国1964年的调查材料，有10506处市政自来水含氟量在0.7毫克/升以内，524处为0.7~0.99，424处为1~1.44，170处为1.5~1.99，171处为2~2.99，112处为3毫克/升以上。

对苏联学者们的500多篇有关水氟含量资料汇总结果如表 I—1 所示，根据这些资料可以做出以下结论：（1）在苏联除地下热水外，水源含氟量多在0.01至13毫克/升之间；（2）大多数共和国含0.5毫克/升 F^- 的水源数，远远超过 F^- 浓度高于此值的水源数，这说明，在苏联水中加氟以预防龋齿是一个十分迫切的问题；（3）有一些共和国有相当多的水源含氟量超过1.5毫克/升，在这些地方防治地方性氟中毒成为重要的问题。

大多数地面水源的氟离子浓度较低（0.5毫克/升以内），如河流、湖泊、水库等（见表 I—1）。在苏联南部地区，发现有个别被严重矿化的河流、水库，其水氟浓度达1毫克/升。地面水较低的氟含量有很大的实际意义，因为苏联有85%以上的城市自来水源是由河流提供的，这种水源的水经凝聚沉淀澄清后，水中 F^- 的含量估计还要降低8~30%；从上游流至下游其水中 F^- 浓度升高不明显（0.1~0.3毫克/升）；河水氟含量的季节性波动也在一定范围之内。河流、水库的 F^- 浓度，可在多年内保持稳定。在塔吉克斯坦、阿塞拜疆、雅库梯、依尔库茨克和奇钦斯克等地发现大量地表水含氟量为1~3.5毫克/升。在哥萨克斯坦有许多类似的地面水，那里的河水 F^- 浓度为1毫克/升，而湖泊水 F^- 高达6~11毫克/升。这是因为掺入了流经古生代花岗岩的裂隙水，这种水溶解了大量的含氟矿物（达1.7% F^- ）。在这些干旱地区不泄水的

表 I—1

苏联水中氟离子的浓度

共和国及水名	各种氟浓度 (毫克/升) 水源数 %					最 高 氟浓度
	0.5以下	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0以上	毫克/升
俄 罗 斯						
地 面 水	97.0	2.0	1.0	少数	—	1.8
井 水	89.0	8.0	2.0	0.7	0.3	4.0
自流井水	68.0	11.0	5.0	4.0	12.0	10.5
阿塞拜疆						
地 面 水	50.0	41.0	6.0	2.0	1.0	3.6
井 水	6.0	12.0	10.0	44.0	28.0	5.6
自流井水	58.0	31.0	9.0	2.0	少数	2.0
亚美尼亚						
各种水源	91.0	3.0	5.5	0.5	少数	1.9
白俄罗斯						
地 面 水	100.0	—	—	—	—	0.5
井 水	97.6	2.1	0.3	少数	—	1.8
自流井水	67.0	14.5	7.0	3.5	8.0	4.0
格鲁吉亚						
各种水源	98.0	1.8	0.2	少数	—	4.0
拉托维亚						
各种水源	95.0	5.0	—	少数	—	2.2

续表 I—1

哥 萨 克

地 面 水	54.0	34.0	5.0	4.0	3.0	11.0
井 水	35.0	24.0	14.0	16.0	11.0	4.0
自流井水	30.0	44.0	15.0	7.0	4.0	4.8

莫尔达瓦

地 面 水	28.0	72.0	—	—	—	0.9
井 水	42.0	33.0	15.0	4.0	6.0	7.0
自流井水	40.0	29.0	8.0	6.0	17.0	12.0

乌兹别克

地 面 水	57.0	40.0	3.0	—	—	1.5
井 水	56.0	32.0	3.0	6.0	3.0	2.6
自流井水	76.0	10.0	14.0	—	—	4.0

乌 克 兰

地 面 水	94.0	6.0	—	—	—	0.8
井 水	67.0	19.4	8.0	3.0	3.0	5.6
自流井水	60.0	22.0	7.0	4.0	7.0	13.0

爱沙尼亚

地 面 水	96.0	4.0	—	—	—	—
土 井 水	94.5	5.5	少数	—	—	1.1
自流井水	82.4	13.4	4.2	少数	少数	6.3

内陆湖泊中蒸发的浓缩水，其 F^- 浓度也较高。据记载，在苏联曾有个别情况发生过磷酸盐和冰晶石工厂的含氟废水污染了水源，被污染地段的水源 F^- 浓度增高至3~6毫克/升甚至达21毫克/升。

从表 I—1 可以看出，地下水、特别是自流井水比地表水含有更高的 F^- ，在这类水源中常常可以发现含有适宜的或较高的 F^- 浓度。

根据每一个含水层中水的 F^- 浓度固有变化的规律性，目前可以准确地预测新设计的自流井水的 F^- 含量。它们大多数的 F^- 含量是稳定的，浓度的年平均值波动不超过 $\pm 0.05 \sim 0.1$ 毫克/升。

多数农民饮用矿井水和自己挖掘的土井水，其中也能遇到高 F^- 浓度的水。这些水的氟浓度季节性波动为年平均 $\pm 20 \sim 30\%$ （年终和冬季最高）。有趣的是，在农村有的井水 F^- 含量可出现显著的波动，在某种地形复杂的农村，我们发现 F^- 波动在0.4~3.6毫升/升之间（深井波动最大）。因此，在饮用当地供水的居民点里，有可能发生地方性氟中毒的潜在危险，这里居民的牙齿可发现有不同程度的损害。

应该认识到，现在已经到了必须绘制每个共和国含 F^- 量地质图的时候了。这种地质图应包括已供饮用和尚未饮用的各含水层的水氟浓度。这是为了：（1）有目的地统一规划防护措施；（2）确定水 F^- 浓度高的特定水文地球化学地区以及在这些地区实行必要的卫生措施；（3）用作供水预防卫生监督过程中的含氟量资料；（4）研究在不同气候和其它条件下各种不同 F^- 浓度水对居民健康的影响。